

ألبرت أينشتاين

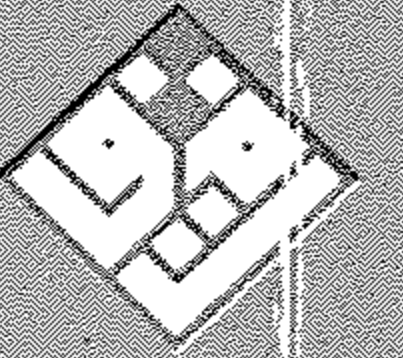
ميراث الترجمة

النسبية

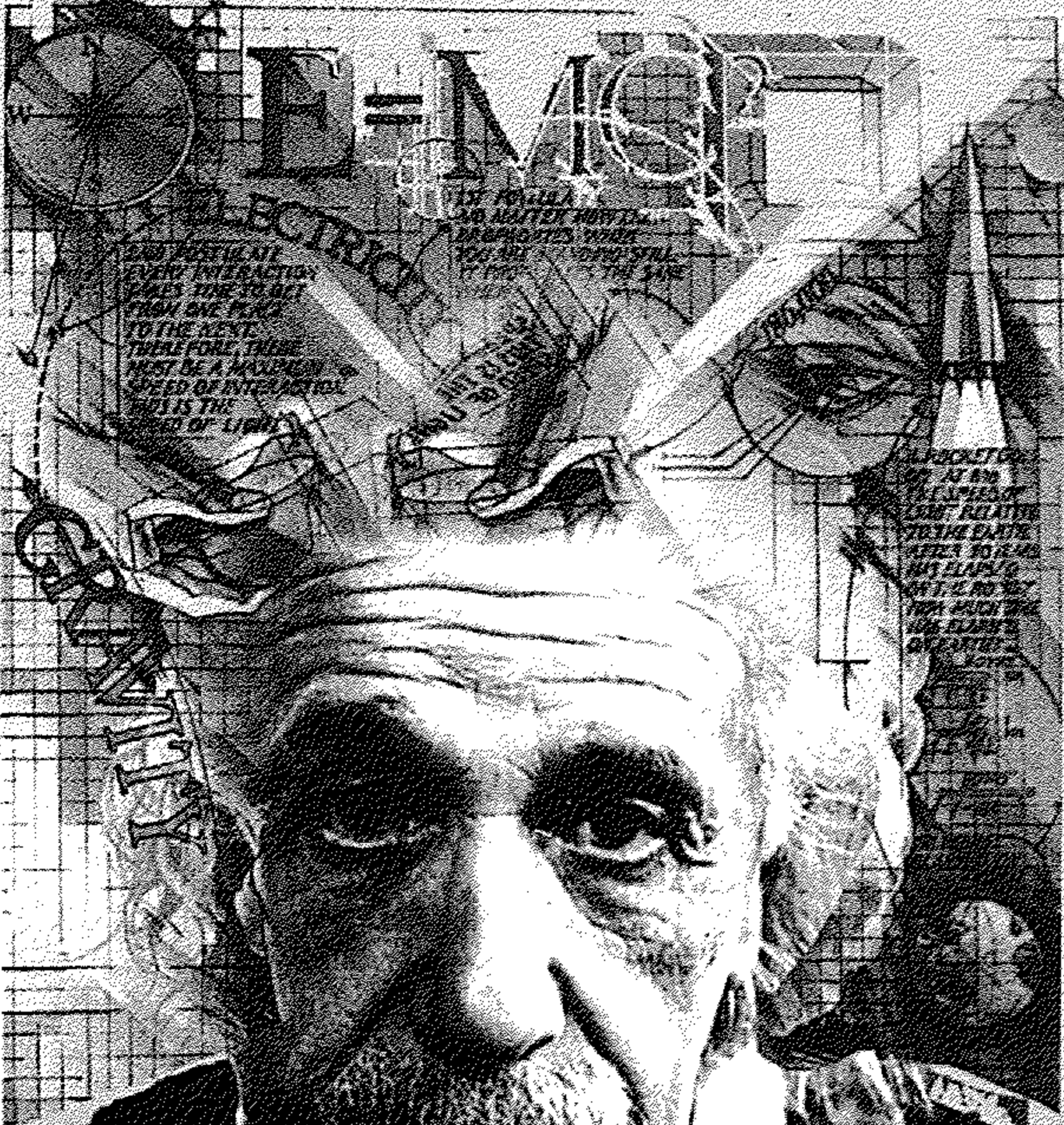
النظرية الخاصة والعامة

ترجمة : رمسيس شحاتة
راجع : محمد مرسى أحمد
تقديم : عطية عاشور

المجلس
الأعلى
للثقافة



مشروع القوم للترجمة



828

5

المشروع القومي للترجمة

النسبية

النظرية الخاصة والعامة

تأليف : ألبرت أينشتاين

ترجمة : رمسيس شحاته

راجعه : محمد مرسى أحمد

تقديم : عطية عاشور



المشروع القومي للترجمة

إشراف : جابر عصفور

سلسلة ميراث الترجمة

المحرر : طلعت الشايب

– العدد : ٨٢٨

– النسبية – النظرية الخاصة والعامة

– ألبرت أينشتاين

– رمسيس شحاته

– محمد مرسى أحمد

– عطية عاشور

– ٢٠٠٥

– صدرت الطبعة الأولى ١٩٦٥

هذه ترجمة كتاب :

Relativity : The Special and The General Theory

ALBERT EINSTEIN : تأليف :

1916

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمجلس الأعلى للثقافة

شارع الجبلية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St., Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 Fax : 7358084.

تهدف إصدارات المشروع القومي للترجمة إلى تقديم مختلف الاتجاهات والمذاهب الفكرية للقارئ العربي وتعريفه بها ، والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المجلس الأعلى للثقافة .

تقديم

عطية عاشور

هذا الكتاب الذى ألفه صاحب النظرية النسبية ، والذى نشر عام ١٩١٦ وأعيد طبعه بلغته الإنجليزية خمس عشرة مرة على الأقل ، وتمت ترجمته منذ حوالى ٤٠ عاماً .
(قام بالترجمة الدكتور/ رمسيس شحاته وراجعها المرحوم أ.د. محمد مرسى أحمد) ،
لا يزال من أفضل الكتب المبسطة عن النظرية النسبية الخاصة والعامة ، وسبب ذلك أن
صاحب النظرية يقدم فيه أسسها فى سهولة ويسر ، ويتغلب فى براعة فائقة على تردد
المتطبعين بالفيزياء الكلاسيكية فى الانفلات من الهندسة الأقليدية وما يصاحب ذلك من
عدم القبول بالجديد . إن من أهم مميزات الكتاب أيضاً أنه موجه للدارسين فى نهاية
المرحلة الثانوية من التعليم ويطالبهم بالصبر وبذل الجهد .

إن نتائج النظرية النسبية وتطبيقاتها قد طورت المعرفة العلمية ، وأوصلت إلى غزو
الفضاء وفك الكثير من أسرارهِ ، كما ساعدت على دراسة وتطوير نظرية الجسيمات
الأولية والكثير من موضوعات الفيزياء الحديثة ، كما أن التنبؤات التى طرحتها النظرية
النسبية فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضى قد تحققت عن طريق العالمين
أوينهايمر وجورج جامو ، وقد تم الكشف عن ذلك فى النصف الثانى من القرن العشرين ،
ومن هذه الأعمال الكشف عن إشعاع الخلفية الكونية بدرجة حرارة مطلقة ٢,٧٣ وذلك
عام ١٩٦٥ ، وكان جورج جامو قد تنبأ بها عام ١٩٤٤ ، واكتشاف نجوم النيوترون ،
التي تنبأ بها أوينهايمر عام ١٩٣١ .

لقد صدرت ترجمة هذا الكتاب إلى العربية عام ١٩٦٥ ، أى منذ أربعين عاماً (كما نكرنا
من قبل) وإعادة طبع هذه الترجمة بمناسبة مرور ١٠٠ عام على ظهور نظرية النسبية
الخاصة هو أمر جيد للغاية ، وياحبذا لو وزع هذا الكتاب على طلاب مرحلة الثانوية العامة
الذين يدرسون الرياضيات والفيزياء وتقديم النظرية النسبية لهم مبسطة وبقلم صاحبها .
وأختم هذا التقديم بشكر المسئولين عن المشروع القومى للترجمة على قرار إعادة
طبع الكتاب .

الألف كتاب

٥٥٩

التربية

النظرية الخاصة والعام

بإشراف
الإدارة العامة للثقافة
بوزارة التعليم العالي

**تصدر هذه السلسلة بمعاونة
لجنة النشر العلمى بوزارة التعليم العالى**

النسبية

النظرية الخاصة والعامة

تأليف

ألبرت أينشتاين

ترجمه

دكتور مسليس شحانة

راجع

دكتور محمد مرسى أحمد

دار تحف مصر

للطباعة والنشر

القاهرة

١٩٦٥

عنه ترجمة كتاب:

Relativity: The Special and The General Theory

ALBERT EINSTEIN

تأليف:

مقدمة المؤلف

أتمنى لهذا الكتاب أن يوفر للقارىء الذى يهتم بدراسة نظرية النسبية فلسفيا وعمليا وسيلة سهلة يحقق بها أمله فى دراستها دراسة تامة حتى ولو لم يكن متمكنا من الجهاز الرياضى الذى تتطلبه دراسة الفزياء النظرية . وعلى الرغم من قلة صفحات هذا الكتاب فإن قراءته تستلزم عزمًا لا يلبين ومثابرة على تعمق الفكر ومستوى ثقافيا يضارع مستوى القبول فى الجامعات . ولقد بذلت غاية الجهد فى سبيل توضيح الأفكار الأساسية أحسن إيضاح فوضعتها فى أبسط صورة وأسهلها فهما . أما من حيث التسلسل والارتباط فقد تركتها فى مجموعها على سجيئتها مثلما خطرت لى أصلا . ولم أدخر وسعاً فى سبيل الوضوح السكامل فلم أسلم فى كثير من المواقف من التكرار ولم أهتم أى اهتمام ببلاغة الأسلوب وطلاوته فإنى مثل ل . بولتمان — ذلك العالم الفذ — أعتقد أن أمور التائق يجب تركها للترزى والإسكاف . ولست أدعى أنى قد باعدت بين القارىء والصعوبات المتصلة بالموضوع إنما قصدت إلى معالجة الأساس الفزيائى التجريبي للنظرية بطريقة حانية عمادها التيسير والرفق حتى لا أترك القارىء الذى لا يلم بالفزياء يشعر بالتيه أو الضياع كمن أضلته الأشجار عن الغابة . إنى أتمنى أن يهيب هذا الكتاب للقراء لحظات من التفكير الملهم .

تعليق بمناسبة الطبعة الخامسة عشرة

لقد أضفت في هذه الطبعة الخامسة عشرة ملحقا خامسا يتضمن آرائى فى مشكلة المكان عموما والتغيرات التدريجية التى طرأت على تصورنا له نتيجة لوجهة النظر «النسبية» ، لقد أردت أن أوضح أن المكان ليس بالضرورة شيئا يمكن أن نمثله وجوداً منفصلاً بطريقة مستقلة عن الأجسام الموجودة فعلاً فى دنيا المادة . إن الأجسام المادية ليست « فى المكان » بل هى « امتداد مكانى » وبهذه الطريقة يفقد « تصور المكان الفارغ » معناه .

أ . أينشتاين

٩ يونيو سنة ١٩٥٢

الجزء الأول

نظرية النسبية الخاصة

الفصل الأول

المعنى الفيزيائي للقضايا الهندسية

لعل الغالبية الكبرى ممن يقرءون هذا الكتاب قد تعرفوا في حياتهم الدراسية على ما في هندسة إقليدس من منطق نبيل ولعلمهم يذكرون - احتراماً - لا حياً - ذلك الصرح الشاخ الذي ساقهم في تسلق درجه أساتذة أمناء مهرة طوال ساعات لاحصر لها. ولا شك أن القارى "سينظر بعين الريبة والازدراء إلى كل من يجرؤ على التشكيك في صدق أية قضية من قضايا الهندسة ونظرياتها مها كانت ثانوية . ولا شك أن السر في ذلك هو ما تولد في نفس القارى " خلال تجربته السابقة مع الهندسة من شعور وطيد بالثقة . ولكن أليس لهذه الثقة حدود ؟ لو أن أحداً سألك أيها القارى " العزيز: ماذا تعنى بتأكيدك أن هذه القضايا صادقة؟ - لعلك لو تأملت قليلاً مضمون هذا السؤال والآفاق التي يفتحها أمامنا لرأيت أركان هذه الثقة الكاملة قد اهتزت واكتنفها الظلال . ولذلك أعتقد أنه لا بد لنا أن نتأمل هذا الأمر معاً بإمعان وروية .

إن الهندسة تنبع من تصورات معينة مثل تصور المستوى والنقطة والمستقيم . ونحن نستطيع أن نربط بهذه التصورات أفكاراً محددة نوعاً ما تمثلها جيداً . والهندسة تقوم بجانب ذلك على قضايا بسيطة معينة "بديهيات" ، ونحن نميل بسبب حسن تصورنا لتلك الأفكار المحددة إلى التسليم بأن هذه البديهيات صادقة . ثم بطريقة منطقية دامغة لاسبيل إلى إنكار وجاهاتها نقيم الدليل على أن كل القضايا الباقية تتسلسل من البديهيات ، أى أننا نقيم بذلك البرهان عليها . ومن هنا نرى أن قضايا

الهندسة تكون صحيحة (صادقة) عندما تكون مشتقة من البديهيات على النحو المسلم به . وهكذا نجد أن البحث في « صدق » القضية الهندسية الواحدة يتحول في آخر الأمر إلى البحث في « صدق » البديهيات . ولكننا قد عرفنا منذ أمد بعيد أن البحث في صدق البديهيات لا يمكن معالجته بالطرق الهندسية بل إنه لا معنى له بالكلية فلا وجه لأن نقسم مثلاً إن كان صدقاً أنه لا يوجد إلا خط مستقيم واحد يصل بين نقطتين أم لا . كل ما يمكن أن نقوله هو أن هندسة إقليدس تعالج أشياء تسميها « خطوطاً مستقيمة » وتنسب لأي واحد منها خاصية التعيين بذاته بنقطتين واقعتين عليه : ونحن نعلم أن التصور الذي نعبر عنه بكلمة « صادق » ، نقصد به عادة شيء له وجود حقيقي . (والهندسة ليست معنية بعلاقات المفاهيم الداخلة فيها بالأشياء الواقعية ولكنها معنية فقط بالصلات المنطقية لهذه المفاهيم فيما بينها .

وليس من العسير أن نرى لماذا كنا على الرغم من هذا مسوقين إلى القول « بصحة » القضايا الهندسية . فالمفاهيم الهندسية تناظر إن كثيراً أو قليلاً أشياء بالذات لها وجود في الطبيعة ، وهذه الأشياء دون ريب السبب الوحيد في نشأة هذه المفاهيم . ولا شك أنه يجب على الهندسة أن تتنكب هذا الطريق إذا أرادت أن يكون لبنائها أكبر وحدة منطقية ممكنة . خذ مثلاً تلك العادة المتأصلة في تفكيرنا في أن كل ما في المسافة هو موضع نقطتين على جسم متناسك . أو أيضاً ما درجنا عليه من اعتبار ثلاث نقط على استقامة واحدة إذا استطعنا أن نجعل مواضعها الظاهرية تنطبق على مسار شعاع بصري واحد ، وذلك إذا أحسننا اختيار الموضع الذي نرصد منه هذه النقط الثلاث .

ولكننا نستطيع أن نستعيد ثقتنا الأولى إلى حد ما وذلك إذا أضفنا إلى قضايا هندسة إقليدس القضية التالية : « تناظر نقطتان على جسم

جاسيء نفس المسافة دائماً (الفترة الخطية) مهما حدث من تغيرات في موضع الجسم ، عند ذلك نجد أن قضايا هندسة إقليدس تتحول فجأة إلى قضايا عن المواضع النسبية الممكنة للأجسام الجاسئة^(١) . والهندسة التي أكملت بهذه الصورة يجب أن تعالج على اعتبارها فرعاً من الفزياء^(٢) . ويحق لنا عندئذ أن نتساءل عن صدق قضايا الهندسة مفسرة على هذا النحو . لأننا أصبحنا نستطيع أن نختبر هل تتفق فعلاً هذه القضايا مع الأشياء الحقيقية التي ربطناها فيما سبق بالآفكار الهندسية أم لا . أو بعبارة أخرى – ولو أنها أقل دقة – يمكننا أن نعبر عن ذلك بأن نقول إننا نقصد بصدق قضية هندسية ما بهذا المعنى قابليتها للتنفيذ باستعمال المسطرة والفرجار .

وهكذا نرى بوضوح أن الاقتناع بصدق القضايا الهندسية بهذا المعنى يستند كلية على تجربة لا يمكن اعتبارها بحال من الأحوال كاملة بل هي أقرب ما تكون إلى النقص ولكننا مع ذلك سنسلم الآن بصدق القضايا الهندسية وسنرى فيما بعد (في نظرية النسبية العامة) أن هذا الصدق محدود ، وسنحاول أن نعين مدى هذه الحدود .

* * *

(١) يتبع هذا ان يرتبط جسم طبيعي بخط مستقيم وهكذا تقع النقاط ا ، ب ، ج على جسم جاسيء على خط مستقيم حينما نختار النقطة ب وقد حددنا من قبل النقطتين ا ، ج بحيث يكون مجموع المسافتين ا ب ، ب ج أقصر ما يكون . وسيبقى هذا الاقتراح الناقص بالفرض الذي ننشده حالياً .

(٢) هذا هو ما يسمى بفزياء الهندسة وهو حجر الزاوية الذي شاد عليه ريمان هندسة الفضاء الكروي المنحني مترسماً خطى لوياتشفسكى أبو الهندسات اللاقليدية وجاوس الذي اهتدى الى الوسيلة الرياضية انعاماً للدراسة المتصلات متعددة الأبعاد . وإذا أضفنا الى هذه الأفكار فكرة تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية حصلنا على هيكل نظرية النسبية العامة (المترجم) .

الفصل الثاني

مجموعة الإحداثيات

لقد شرحنا في الفصل السابق التفسير الفيزيائي للمسافة واستناداً إلى هذا التفسير نستطيع أن نحدد بسهولة المسافة التي تفصل بين نقطتين على جسم جاسيء وذلك بواسطة القياس . وكل ما نحتاج إليه للقيام بعملية القياس هو « مسافة ما » ، ولتكن « القضيب ل مثلاً ، نتفق عليها مقدماً ونعتبرها وحدة عيارية للقياس فإذا كانت « ب » نقطتين على جسم جاسيء فإننا نستطيع إنشاء الخط الذي يوصل بينهما بالطرق الهندسية ونستطيع ابتداء من « أ » أن نطبق القضيب على هذا الخط وأن نكرر ذلك بحيث تطابق نقطة ابتدائه في كل مرة نهايته في المرة السابقة إلى أن نصل إلى « ب » ، وعدد مرات تكرار هذه العملية هو القياس العددي للمسافة « ب » . إن هذا هو أساس كل عمليات قياس الأطوال (١) .

إن كل وصف لمسرح أية حادثة أو لموضع جسم ما في الفضاء يستند أساساً إلى تعيين النقطة التي تناظر مسرح الحادثة أو موضع الجسم من نقط مجموعة الإسناد . وليس هذا النحو في وصف مسارح الحوادث ومواضع الأجسام وفقاً على العلم وحده بل إنه في الواقع عين ما نلجأ إليه في حياتنا اليومية . إننا إذا تأملنا تحليلياً التحديد المكاني : « حادثة في ميدان

(١) لقد فرضنا هنا أنه لم يتبق شيء أي نتيجة القياس عدد صحيح ونجن نتغلب على هذه المشكلة أيضاً باستعمال قضبان القياس المقسمة إلى أجزاء واستعمالها على هذه الصورة لا يتطلب تعديلاً جوهرياً في طريقة القياس .

التحرير بالقاهرة مثلاً ، أمكن أن نصل بسهولة إلى النتيجة التالية : إن الأرض هي مجموعة الإسناد التي نسند إليها التعيين المكاني ، وميدان التحرير نقطة محددة جيداً على سطح الأرض أطلق عليها هذا الاسم وهذه النقطة هي النقطة التي تتفق ومسرح الحادثة في المكان .^(١)

وهذه الطريقة البدائية في تعيين المكان لا تصلح إلا بالنسبة للأماكن التي تقع على سطوح الأجسام الجاسئة وبشرط وجود نقط على هذه الأجسام يمكن تمييزها عن غيرها من النقط . ولكننا نستطيع أن نتحرر من كل هذه القيود دون أن نغير الأساس الذي نعتمد عليه في تعيين المواضع . فإذا كانت هناك سحابة فوق ميدان التحرير مثلاً فإننا نستطيع أن نعين مكانها بالنسبة إلى سطح الأرض بأن نقيم عموداً يصل بينها وبين الميدان وطول هذا العمود مقيساً بقضيب القياس العياري مشتركاً مع ما يحدد نقطة قاعدة العمود يعطينا معاً تحديداً كاملاً لموضع السحابة في الفضاء . ومن هذا المثل نرى بوضوح الطريقة التي تم بها تهذيب الفكرة الأساسية في عملية تحديد المواضع عموماً . وتتلخص خطوات هذه العملية فيما يلي :

(أ) أن نتخيل الجسم الجاسئ الذي نسند إليه التعيين المكاني مزوداً على نحو يمكنه من الوصول إلى الجسم المراد تعيين موضعه .

(ب) نستعمل في تحديد موضع الجسم عدداً بدلاً من الالتجاء إلى نقط إسناد معينة (وهو في هذه الحالة طول العمود مقيساً بقضيب القياس « وحدة القياس ») .

(١) ليس من الضروري هنا أن نتقصى إلى أبعد من ذلك معنى عبارة «الاتفاق في المكان فهذا التصور واضح الوضوح الكافي لتجنب اختلاف الرأي حول إمكان تطبيقه عملياً .

(ح) . نستطيع أن نحصل على ارتفاع السحابة حتى ولو لم نعلم العمود فعلا فنحن إذا رصدنا السحابة ضوئياً من مواقع مختلفة على الأرض . وإذا أدخلنا في حسابنا خواص انتشار الضوء نستطيع أن نعين طول العمود الذي كان علينا أن نقيمه حتى نصل إلى السحابة .

بما تقدم نرى أنه سيكون من المستحسن لو أمكن عند وصف المواقع عموماً أن نتحرر بطريقة القياسات العددية من ضرورة الالتجاء إلى ذكر مواقع معينة لها أسماء خاصة تتميز بها على مجموعة الإسناد التي نرجع إليها . ونحن نحقق ذلك في القياسات الفيزيائية بتطبيق مجموعة إحدائيات ديكرت..

وهي تتكون من ثلاثة سطوح مستوية متعامدة ومرتبطة ارتباطاً جاسماً بجسم جاسىء . ويتحدد موقع أية حادثة إذا أسندناه إلى مجموعة الإسناد بتعيين أطوال ثلاثة الأعمدة أو الإحدائيات (س. ص. ع) التي يمكن إسقاطها من مسرح الحادثة على ثلاثة السطوح المستوية التي تكون مجموعة الإسناد . وأطوال هذه الأعمدة الثلاثة يمكن تحديدها بسلسلة من عمليات القياس تتم باستعمال قضبان القياس تبعاً للقواعد والطرق التي وضعها هندسة إقليدس .

وليس من المستطاع دائماً في الحياة العملية الحصول على السطوح الجاسئة التي تتكون منها مجموعة الإسناد، وفوق ذلك فإن مقادير الإحدائيات لا تحدد عملياً بطريق القياس المباشر بقضبان القياس فقط. ولكن بطرق غير مباشرة أيضاً، فإذا كنا نريد أن تحتفظ النتائج التي توصلنا إليها في الفزياء والفلك بوضوحها يجب أن لا يغيب عن بالنا أن تعيين المواقع يفقد معناه الفزيائي ما لم يخضع للاعتبارات التي ذكرناها آنفاً (١) .

(١) لا يصبح اكمال وتحوير هذا الاعتبار ضرورياً إلى أن نعالج نظرية النسبية العامة التي سنناقشها في الجزء الثاني من هذا الكتاب .

وهكذا نصل إلى النتيجة التالية : إن وصف الحوادث التي تتم في الفضاء يحتم علينا الالتجاء إلى مجموعة إسناد جاسئة تنسب إليها هذه الحوادث ، والعلاقة الناتجة تسلم جدلاً بأن قوانين الهندسة الإقليدية تنطبق على المسافات باعتبار المسافة يمثلها فزيائياً اتفاق سابق على علامتين على جسم جامد .

* * *

الفصل الثالث

المكان والزمان في الميكانيكا الكلاسيكية

« إن الميكانيكا تهدف إلى وصف كيفية تغيير الأجسام لمواقعها في المكان بمرور الزمن ، . لا شك أني لو ألقيت مثل هذا القول على علاته دون تفكير جدي وإيضاحات مفصلة عن أهداف الميكانيكا أكون قد أثقلت ضميري بآثام جسام ضد روح انضوح المقدسة .

والآن دعنا نكشف الغطاء عن هذه الآثام وأولها هو عدم وضوح ما نقصده هنا بكلمتي «الموقع» و «المكان» . فإذا فرضنا أني أقف بناقذة عربية قطار يسير بسرعة انتقال منتظمة وأنني أسقطت حجراً على طريق السكة الحديدية دون أن أقذف به فإنني إذا تغاضيت عن أثر مقاومة الهواء أجد أن هذا الحجر يظهر بالنسبة لي كأنه يسقط في خط مستقيم بينما يراه رجل واقف على جانب الطريق يسقط إلى الأرض في منحنى يسمى قطع مكافئ . وإنني أتساءل الآن هل تقع النقط التي مربها الحجر « في الحقيقة » على خط مستقيم أو على منحنى قطع مكافئ ؟ وفوق ذلك ماذا نقصد هنا بعبارة الحركة « في المكان » . . . ؟ إننا في ضوء الاعتبار التي قدمناها في الفصل السابق نجد أن الجواب على هذا السؤال واضح للعيان والسبيل إليه هو أن نحذف أولاً وقبل كل شيء تلك الكلمة الغامضة «المكان» التي تقتضي الأمانة أن نعرف بأننا لا نستطيع أن نكون عنها أدنى فكرة ، ثم نحل محلها عبارة « الحركة بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاسئة » . أما المواقع بالنسبة إلى مجموعة الإسناد (عربة القطار أو قضيب السكة الحديدية) فقد سبق لنا تعريفها تفصيلاً في الفصل السابق فإذا وضعنا بدلاً من عبارة « مجموعة الإسناد »

عبارة « مجموعة الإحداثيات » - وهي فكرة رائعة يمكن الاعتماد عليها في الوصف الرياضى - نجد أننا قد أصبحنا في موقف يؤهلنا لأن نقول : « إن الحجر يقطع عند سقوطه خطأ مستقيماً بالنسبة إلى مجموعة إسناد مرتبطة ارتباطاً جاسماً بعربة القطار ولكنه بالنسبة إلى مجموعة إسناد مرتبطة ارتباطاً جاسماً بالأرض قضيب السكة الحديدية) يقطع قطعاً مكافئاً » ونحن نرى بوضوح بفضل هذا المثل أنه لا وجود لشيء مثل « مسار مستقل الوجود » (حرفياً منحني المسار)^(١) إنما كل ما هناك هو مجرد مسار نسبي بالنسبة إلى مجموعة إسناد خاصة .

ولكى يكون وصفنا للحركة كاملاً يجب أن نعين كيف يغير الجسم موقعه بمرور الزمن . أى أننا يجب أن نذكر بالنسبة إلى كل نقطة على المسار وقت وجود الجسم بهذه النقطة . وحتى هذه المدلولات لا تكفى لأن تجعل وصفنا للحركة كاملاً إنما يجب أن يضاف إليها تعريف للزمن يجعل من المستطاع اعتبارها - وهي قيم زمانية أصلاً - مقادير (نتائج للقياس) يمكن معرفتها عن طريق الملاحظة وفي حالة المثل التوضيحي السابق نصل إلى تحقيق هذا الهدف - على أساس الميكانيكا الكلاسيكية - بأن نتصور أن هناك ساعتين متشابهتين في التركيب إحداهما مع الراصد الذى يطل من نافذة القطار والأخرى مع الراصد الذى على جانب الطريق الحديدى وأن نطلب إليهما أن يحدد كل منهما موضع الحجر بالنسبة إلى مجموعة إسناد كل منهما في كل لحظة تعينها الساعة . ونحن نتجاوز في هذا عن الخطأ الذى يترتب على سرعة انتشار الضوء المحددة . وسنتكلم بالتفصيل عن ذلك وعن صعوبة أخرى قائمة هنا في فصول تالية .

* * *

(١) أى المنحنى الذى يتحرك عليه الجسم .

الفصل الرابع

مجموعة الإحداثيات الجاليلية

كلنا نعلم جيداً أننا نستطيع لو شئنا أن نضع القانون الأساسى لميكانيكا جاليليو - نيوتن وهو المعروف بقانون القصور الذاتى على النحو الآتى :

« كل جسم معزول بدرجة كافية عن بقية الأجسام يستمر ساكناً أو متحركاً بحركة منتظمة فى خط مستقيم » . وهذا القانون لا يدلنا إلى حد ما على حركة الأجسام فحسب بل إنه يشير أيضاً إلى مجموعات الإسناد أو مجموعات الإحداثيات الممكنة فى الميكانيكا والتي يمكن الالتجاء إليها عند الوصف الميكانيكى . فالنجوم الثابتة التى يمكن رؤيتها أجسام معزولة بدرجة كافية، ويمكن أن يطبق عليها قانون القصور الذاتى إلى درجة عالية من التقريب . ولكننا إذا استعملنا مجموعة إحداثيات مرتبطة بالأرض ارتباطاً جاسئاً نجد أن كل نجم ثابت يتحرك بالنسبة إلى هذه المجموعات فى دائرة هائلة القطر خلال يوم فلكى وهذا يجعل هذه المجموعات تتعارض مع نص قانون القصور الذاتى ولذلك إذا أردنا التمسك بهذا القانون وجب علينا قصر إسناد الحركات عموماً على مجموعات الإحداثيات التى تكون حالتها من الحركة بحيث ينطبق عليها قانون القصور الذاتى وتسمى « مجموعة إحداثيات جاليلية » ولا تعتبر قوانين ميكانيكا جاليليو - نيوتن صحيحة إلا بالنسبة إلى مجموعات الإحداثيات الجاليلية هذه فقط .

* * *

الفصل الخامس

مبدأ النسبية (بالمعنى المقيد)

دعنا نعود تلبساً لأقصى وضوح ممكن إلى مثل عربة القطار التي تتحرك بسرعة منتظمة . إننا نسمي حركتها انتقالاً منتظماً (منتظماً لأن سرعته واتجاهه ثابتان وانتقالاً لأنه بالرغم من أن العربة تغير موضعها بالنسبة إلى قضيب السكة الحديدية فإنها مع ذلك لا تدور أثناء حركتها) ولنفرض الآن أن غراباً يطير بحيث تبدو حركته لمن يرقبها من فوق قضيب السكة الحديدية منتظمة وفي خط مستقيم . إننا إذاً كان علينا أن نرصد نفس الغراب الطائر ونراقبه من عربة القطار المتحركة لوجدنا أن حركته سوف تبدو مختلفة السرعة والاتجاه عنها في الحالة الأولى ولكنها ستظل مع ذلك منتظمة وفي خط مستقيم . ولهذا يمكن أن نقول على وجه التجريد : إذا كانت الكتلة ك تتحرك بانتظام في خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م فإنها تكون أيضاً متحركة بحركة منتظمة وفي خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة إسناد أخرى م' مادامت مجموعة الإسناد الأخيرة تتحرك بحركة انتقال منتظمة بالنسبة إلى المجموعة م ، وتبعاً لما ذكرنا في الفصل السابق نرى أنه :

إذا كانت م مجموعة إسناد جاليلية فإن كل مجموعة إسناد أخرى م' تكون جاليلية أيضاً عندما تكون في حالة حركة انتقال منتظمة بالنسبة إلى المجموعة م فتكون قوانين ميكانيكا جاليليو - نيوتن صحيحة بالنسبة إلى المجموعة م' مثل ما هي صحيحة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م .

والآن دعنا نتقدم خطوة أخرى في تعميمنا فنعبر عن المبدأ على هذا النحو : — « إذا كانت مَ مجموعة إسناد تتحرك بحركة منتظمة خالية من الدوران بالنسبة إلى م فإن كل الظواهر الطبيعية بالنسبة إلى م تخضع لنفس القوانين الطبيعية العامة التي تخضع لها في م »، ويسمى هذا النص « مبدأ النسبية » (بالمعنى المقيد)

وعندما كنا مقتنعين بأن كل الظواهر الطبيعية يمكن تمثيلها بمساعدة قوانين الميكانيكا الكلاسيكية لم يكن هناك داع إلى الشك في صحة مبدأ النسبية ، ولكنه ظهر شيئاً فشيئاً مع تقدم الديناميكا الكهربائية وعلم المعريات أن الميكانيكا الكلاسيكية لم تعد تقدم أساساً كافياً لوصف كل الظواهر الطبيعية ، وعند ذلك قفز السؤال عن صلاحية مبدأ النسبية وصحته إلى مسرح المناقشة ، ولم يستبعد في ذلك الحين أن تكون الإجابة عليه بالنفي .

ومع ذلك فهناك حقيقتان عامتان ضخمتان تؤيدان تأييداً واضحاً صدق مبدأ النسبية . فالميكانيكا الكلاسيكية بالرغم من أنها أصبحت لا تتمدنا بأساس شامل يكفي لأن يفسر نظرياً كل الظواهر الطبيعية فإننا لانستطيع أن ننكر عليها قدراً عظيماً من « الصدق » حيث إنها تفسر لنا تفسيراً يبلغ حد الروعة في دقته حركات الأجرام السماوية وعلى ذلك يجب أن يصدق مبدأ النسبية بدقة عظيمة في مجال الميكانيكا أيضاً . أما أن يصدق بهذه الدقة العظيمة مبدأ عام كهذا في مجال من مجالات الظواهر وأن يكبو في غيرها فأمر يكاد يكون بديهياً أنه غير محتمل .

أما الحجة الأخرى ولو أننا سنعود إليها فيما بعد فتتلخص في أنه إذا كان مبدأ النسبية (بالمعنى المقيد) خطأ فإن مجموعات الإسناد الجاليلية مَ ، مَ ، مَ ... إلخ التي تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض لن تكون متكافئة من حيث ملائمتها لوصف الظواهر الطبيعية وفي هذه الحالة سنجد

أنفسنا محولين على الاعتقاد بأن القوانين الطبيعية لا يمكن التعبير عنها بطريقة سهلة إلا في حالة خاصة واحدة وذلك عندما نكون قد اخترنا كمجموعة إسناد لنا من بين كل مجموعات الإحداثيات الجاليلية مجموعة واحدة م لها حالة خاصة من الحركة ، وسيحق لنا عندئذ (وذلك بسبب مزاياء هذه المجموعة من حيث الملائمة في وصف الظواهر الطبيعية) أن نسمى هذه المجموعة م في حالة « سكون مطلق » ، وكل المجموعات الجاليلية الأخرى م في حالة « حركة » . فإذا كان طريق السكة الحديدية مثلاً يناظر المجموعة م فإن عربة القطار تناظر المجموعة م وتكون القوانين الخاصة بالمجموعة الأولى م أبسط من قوانين المجموعة الثانية م . وهذا التعقيد في قوانين المجموعة الثانية مرجع، أن العربة تتحرك في الحقيقة بالنسبة إلى م . وسيتدخل مقدار واتجاه سرعة العربة في تحديد القوانين الطبيعية العامة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م . لذلك كان علينا أن نتوقع مثلاً أن تختلف نغمة صادرة عن أنبوبة أرغن محورها في اتجاه حركة العربة عن نغمة صادرة من نفس أنبوبة الأرغن عندما يكون محورها في اتجاه عمودي على اتجاه حركة العربة . ولما كانت الأرض بسبب حركتها في مدارها حول الشمس تشبه عربة قطار تتحرك بسرعة ٣٠ كم في الثانية فعلياً إذاً أن نتوقع إذا كان مبدأ النسبية غير صحيح أن يتدخل اتجاه حركة الأرض في تكييف القوانين الطبيعية ، وكذلك سوف يعتمد سلوك المجموعات الفيزيائية على اتجاهها في الفضاء بالنسبة للأرض لأنه لما كان اتجاه سرعة الأرض في دورانها يتغير خلال العام فإنها لا يمكن أن تكون في حالة سكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م خلال العام كله . ولكنه لم يحدث أبداً أن كشفت الملاحظة الدقيقة عن أى تأثير أو تدخل للاتجاهات في تحديد القوانين الطبيعية في الفضاء الأرضي ، أى أننا لم نجد أى اختلاف أو فارق بين خواص الاتجاهات المختلفة في الفضاء لأنها كلها متكافئة وهذا تأييد قوى لمبدأ النسبية.

الفصل السادس

نظرية تركيب السرعات المستعملة في الميكانيكا الكلاسيكية

تخيل أيها القارئ العزيز عربة القطار تتحرك على القضبان بسرعة ثابتة قدرها c وتخيل رجلاً يعبر العربة طولاً في اتجاه سير القطار بسرعة قدرها c' فبأية سرعة يتحرك هذا الرجل بالنسبة إلى قضبان السكة الحديدية . . . ؟ إذا ظل الرجل ساكناً في العربة مدة ثانية فإنه يقطع في هذه الثانية مسافة قدرها c مساوية عددياً لسرعة العربة ولكنه في الواقع نظراً لسيره في العربة يقطع في هذه الثانية مسافة إضافية قدرها c' بالنسبة للعربة وبالتالي بالنسبة للقضبان أيضاً وتساوى عددياً سرعة سيره. وهكذا يكون مجموع ما يقطعه في الثانية بالنسبة إلى القضبان هو $c + c'$ وسنرى فيما يلي أن هذه النظرية وتسمى في الميكانيكا الكلاسيكية نظرية تركيب السرعات لا يمكن الاحتفاظ بها ، أي أن القانون الذي ذكرناه آنفاً لا يمثل الحقيقة ولو أننا سنسلم الآن بصحته إلى حين .

الفصل السابع

التناقض الظاهري

بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية

يصعب أن نجد في الفزياء قانوناً أبسط من قانون انتشار الضوء في الفراغ ؛ فكل أطفال المدارس يعرفون أو يظنون أنهم يعرفون أن هذا الانتشار يحدث في خط مستقيم بسرعة قدرها ٣٠٠,٠٠٠ كم في الثانية . ونحن نعرف على أية حال بمنتهى الدقة أن هذه السرعة واحدة بالنسبة لكل الألوان ، لأنه لو لم يكن الأمر كذلك لما استطعنا رؤية أقل ومضة من نجم ثابت بالنسبة للألوان المختلفة متزامنة وذلك أثناء كسوف ذلك النجم بوساطة جاره المظلم . ولقد استطاع الفلكي الهولندي دي ستر استناداً إلى اعتبارات مماثلة قائمة على دراسة النجوم المزدوجة أن يثبت أيضاً أن سرعة انتقال الضوء لا تتأثر بحركة المصدر الذي يصدر منه والزعم ، القائل بأن سرعة انتشار الضوء تعتمد على اتجاهه في الفضاء ، زعم في حد ذاته غير محتمل .

إننا باختصار مدعوون إلى أن نسلم مع أطفال المدارس بقانون ثبوت سرعة انتشار الضوء (في الفراغ) ج . من كان يتخيل أن هذا القانون البسيط قد أوقع علماء الفزياء أمناً التفكير في أكبر المآزق الفكرية . . . ! دعنا نرى الآن كيف كان ذلك .

إننا نعلم جميعاً أنه يجب علينا أن نسند عملية انتشار الضوء (وكذلك

كل عملية أخرى في الواقع) إلى مجموعة إسناد جاستة (بمجموعة إحدائيات) وليكن طريق السكة الحديدية الذي يمكن أن تتصوره في فراغ تام فإذا أرسلنا شعاعاً ضوئياً على طول الطريق فإن رأس هذا الشعاع يتحرك بالسرعة c بالنسبة للطريق ولكننا إذا تخيلنا عربة القطار تسير بسرعة ثابتة على الطريق قدرها c في نفس اتجاه شعاع الضوء فإذا تكون سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى عربة القطار ؟ من الواضح أننا نستطيع هنا أن نطبق النظرية التي شرحناها في الفصل السابق حيث يلعب شعاع الضوء دور الرجل بالنسبة إلى عربة القطار ونستبدل السرعة c وهي سرعة الرجل بالنسبة إلى الطريق بسرعة الضوء بالنسبة إلى الطريقة وتكون s هي السرعة المطلوبة وهي سرعة الضوء بالنسبة إلى العربة وعلى ذلك يكون لدينا :

$$s = c - c$$

وهكذا يكون انتشار الضوء بالنسبة للعربة أقل من c

ولكن هذه النتيجة تناقض مبدأ النسبية الذي أوضحناه في الفصل الخامس والذي ينص على أن قانون انتشار الضوء في الفراغ ككل قانون طبيعي آخر يجب أن يظل واحداً سواء كانت مجموعة الإسناد هي طريق السكة الحديدية أو العربة . ولقد رأينا أن هذا يبدو مستحيلاً في ضوء ما تقدم لأنه إذا كانت سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية هي c فإنه تبعاً لما تقدم يجب أن يكون هناك قانون آخر ل سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى العربة وهذه هي نقطة الخلاف مع مبدأ النسبية .

وأمام هذه المشكلة لم يكن هناك بد من الاستغناء عن واحد منهما : مبدأ النسبية أو قانون انتشار الضوء في الفراغ والقراء الذين تتبعوا جيداً الفصول السابقة يتوقعون بالتأكيد أننا سنقف في صف النسبية وذلك لأنه شديد الإقناع ، غاية في البساطة وطبيعي جداً وفي هذه الحالة يجب استبدال قانون انتشار الضوء في الفراغ بقانون آخر أكثر تعقيداً ولكنه يتفق

ومبدأ النسبية . ولكن تقدم الفزياء النظرية قد أوضح بجلاء أن هذا التعديل أمر غير مستطاع فقد أثبتت الأبحاث النظرية التي كان لها أثر بالغ والتي أجراها ١.٥. لورنتز على الظواهر الديناميكة الكهربية والظواهر للضوئية المتعلقة بالأجسام المتحركة أن التجربة في هذا المضمار تؤيد تماماً تفسيراً للظواهر الكهرومغناطيسية يستلزم الاحتفاظ بقانون ثبوت سرعة الضوء في الفراغ . وهنا احتدم الصراع بين الرأيين . وقد مال فزيائيون كبار عندما وصلنا إلى هذا الوضع إلى التخلي عن مبدأ النسبية بالرغم من أن أحداً لم يتوصل بأية حال من الأحوال إلى نتائج تجريبية تتعارض مع هذا المبدأ .

وفي هذه الأزمة المستحكمة تقدمت نظرية النسبية إلى الحلبة وأدلت بدلوها وبدأ واضحاً عند ذلك تمام الوضوح نتيجة لتحليل تصورات الفزياء عن المكان والزمان أنه لا أثر في الحقيقة لأي تعارض بين مبدأ النسبية وقانون انتشار الضوء . وإنما بالتمسك بانتظام بكلا هذين القانونين نستطيع الوصول إلى نظرية متماسكة منطقياً . ولقد سميت هذه النظرية بنظرية النسبية الخاصة تمييزاً لها عن النظرية الأوسع التي سنعالجها في آخر هذا الكتاب . أما في الصفحات التالية فسندعم الأفكار الأساسية في نظرية النسبية الخاصة .

الفصل الثامن

فكرة الزمن في الفيزياء

هـب أن صاعقتين جويتين أصابتا قضبان السكة الحديدية المعهودة في مكانين أ، ب متباعدين جداً ، وهب فوق ذلك أنى أكدت لك أن هاتين الصاعقتين قد حدثتا في وقت واحد . إنى لو سألتك أيها القارئ العزيز هل هناك أى معنى لهذا القول ؟ لأجبت على الفور بالإيجاب . ولكنى لو طالبتك بأن تشرح لى ياسهاب ودقة معنى هذا الكلام لوجدت بعد قليل من التأمل أن الأمر ليس هيناً كما يبدو لأول وهلة .

وربما خطرت لك بعد قليل هذه الإجابة : وإن معنى هذا الكلام واضح لا يحتاج إلى تفسير وطبعى أن الأمر سيحتاج إلى بعض التدبر لو كان على أن أقرر عن طريق الملاحظة ما إذا كانت الصاعقتان في هذه الحالة قد حدثتا في آن واحد أم لا ، . ولكنى شخصياً لا يمكن أن أرضى بهذه الإجابة للسبب التالى — : هـب أن فلسياً ماهراً استطاع أن يكتشف خلال تأملاته العبقرية أن الصاعقة لا بد أن تصيب أ، ب في وقت واحد، فعند ذلك سيكون علينا أن نختبر إذا كانت هذه النتيجة النظرية تتفق والحقيقة، وعند ذلك ستجابهنا نفس الصعوبة التى تقابلنا فى كل أمور الفيزياء التى تتدخل فيها فكرة الآنية أو التزامن . إن هذا التصور لا وجود لها بالنسبة إلى عالم الفيزياء ما لم تتح له فرصة اكتشاف ما إذا كان قد تحقق فعلاً أم لا . وهكذا نرى أننا فى احتياج إلى تعريف الآنية وتحديد معناها تعريفاً يمدنا بوسيلة نستطيع بها فى الحالة الراهنة أن نقرر تجريبياً هل حدثت الصاعقتان الجويتان فعلاً فى وقت واحد أم لا . وطالما لم يتوافر هذا الشرط ولم أحقق هذه النتيجة فإنى

أنا عالم الفزياء (وبالطبع أيضاً إن لم أكن عالم فزياء) أخدع نفسي حينما أتصور أنني أستطيع أن أعطى النص على الآنية أى معنى (فشرط التسليم بوجود الآنية هو إمكان التحقق منها عملياً وإلا فليس هناك آنية)^(١) وإننى أسأل القارئ ألا يتابع القراءة ما لم يكن تام الاقتناع بهذه النقطة .
وربما بعد أن تأملت الأمر ملياً خطرت لك الفكرة التالية كوسيلة عملية للتحقق من الآنية ألا وهى أن نقيس المسافة بين ١ ، ب وأن نضع راصداً فى نقطة الوسط (و) مزوداً بوسيلة ما (مرآتين متعامدتين مثلاً) تمكنه من رؤية ١ ، ب معا . فإذا رأى مثل هذا الراصد الصاعقتين فى وقت واحد فهما إذا آزيتان .

ويسرنى جداً أن أوافق على هذا الرأى ولو أنه فى نظرى لا يحسم الموضوع فإننى أشعر أنى ملزم أن أقدم الاعتراض التالى : إن هذا التعريف للآنية صحيح لاشك فى ذلك لو أننى كنت أعلم أن الضوء الذى يرى به الراصد وميض الصاعقة يقطع المسافة (١ و) بنفس السرعة التى تقطع بها المسافة (و ب) ولا نستطيع اختبار صحة هذا الفرض ما لم يكن لدينا وسيلة لقياس الزمن . وهكذا يبدو أننا ندور فى حلقة مفرغة .

وربما بعد تأمل قليل أجبت ساخرأى ولديك كل العذر قائلاً : إننى متمسك بتعريفى السابق للآنية رغم اعتراضك لأن هذا التعريف لا يتعرض فى الواقع للضوء إطلاقاً ، وليس هناك إلا شرط واحد يجب أن يتوافر فى تعريف الآنية لكي يكون صحيحاً ألا وهو أنه فى كل حالة واقعية يجب أن يمكننا هذا التعريف من أن نقرر تجريبياً إذا ما كانت الحالة التى نحن بصدددها قد تحققت فعلاً أم لم تتحقق . وليس هناك مجال للتناقشة فى أن التعريف الذى أقدمه للآنية لاشك يحقق هذا الشرط . فكون الضوء يحتاج إلى نفس الزمن لقطع المسافة من (و) إلى (ب) ليس فى الحقيقة تخيلاً أو افتراضاً حول

(١) لم ترد هذه العبارة فى الاصل اضفناها للشرح (المترجم)

طبيعة الزمن الفزيائية ~~والتي~~ مجرد « تعويض » لي مطلق الحرية في إجراءاته لكي أصل إلى تعريف الآنية .

وواضح أن هذا التعريف يمكن أن يستعمل ليعطى معنى محدداً لا لحادثتين. فقط بل ولأي عدد نختاره من الحوادث أيا كانت مواضع مسارح هذه الحوادث بالنسبة إلى مجموعة الإسناد^(١) (وهي هنا طريق السكة الحديدية) وهذا يقودنا أيضاً إلى تعريف الزمن في الفزياء . ولهذا دعنا نتصور ساعات متماثلة التركيب وضعت في النقط ١ ، ب ، ج من طريق السكة الحديدية (مجموعة إحداثيات) بحيث تكون عقاربها في آن واحد بالمعنى السابق في مواضع متماثلة . وفي هذه الظروف نرى أن زمن أية حادثة هو ما تحدده قراءة موضع عقارب أية ساعة من الساعات التي على مقربة من مكان الحادثة . وبهذه الطريقة نجمع بين كل حادثة يمكن رصدها ومقدار زمني بصورة أساسية .

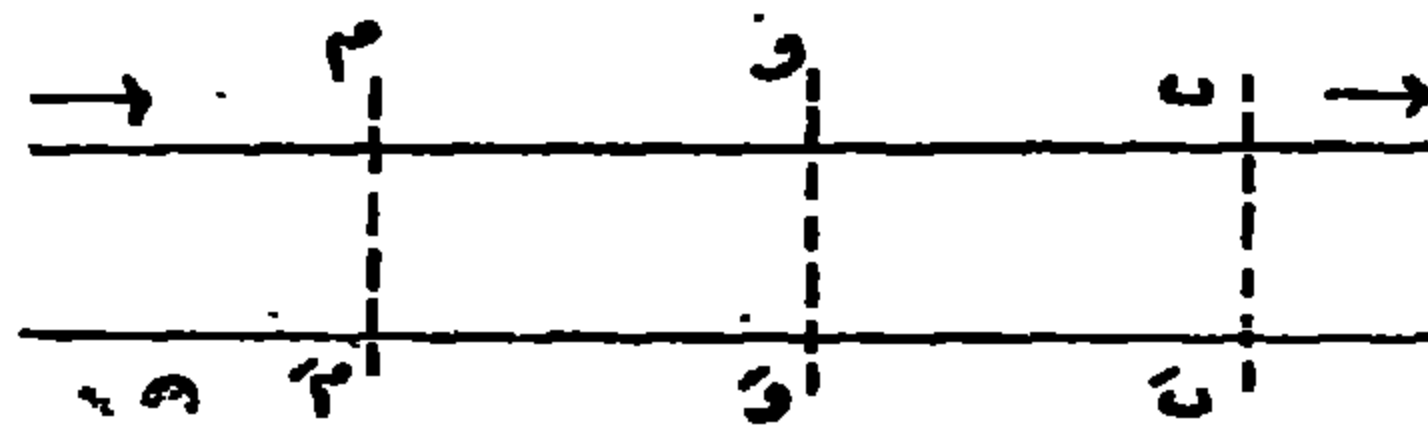
وهذا التعويض يحمل في طبيعته فرضاً فزيائياً آخر مسلماً به يصعب الشك في صحته ما لم يثبت تجريبياً أن العكس هو الصحيح ذلك هو افتراضنا أن جميع هذه الساعات تتحرك بمعزل واحد مادامت متشابهة التركيب أو بعبارة أدق إذا ضبطت ساعتان في حالة سكون وفي مكانين مختلفين من مجموعة إسناد بحيث يكون موضعاً « خاصاً » لعقربي إحدى الساعتين « آنياً » (بالمعنى السابق) مع « نفس » موضع عقربي الساعة الأخرى تكون والقراءات ، « المتماثلة » للساعتين آنية دائماً (بمعنى التعريف السابق للآنية) .

(١) ونحن نفرض أبعد من ذلك أنه عندما تحدث الحوادث ١ ، ب ، ج في أماكن مختلفة بحيث تكون ١ آنية مع ب ، ب آنية مع ج « آنية بالمعنى المذكور آنفاً » يكون شرط آنية الحادثتين ١ ، ج قد تحقق أيضاً . وهذا الزعم فرض فزيائي حول قانون انتشار الضوء ولا بد من تحقيقه إذا كنا نريد الاحتفاظ بقانون ثبوت سرعة الضوء في الفراغ .

الفصل التاسع

نسبية الآنية

لقد درجنا حتى الآن على اتخاذ طريق السكة الحديدية مجموعة إسناد لنا ولا بأس أن نفرض أن قطاراً طويلاً جداً يتحرك على القضبان بسرعة قدرها c في الاتجاه الموضح بالشكل (١) سيفضل المسافرون بهذا القطار اتخاذه مجموعة إسناد (مجموعة إحداثيات) وسيستندون كل ما يحدث إليه وعلى ذلك فكل حادثة تحدث على طول الطريق تحدث أيضاً عند نقطة



(شكل ١)

خاصة من القطار كذلك . ويمكن أيضاً أن نحدد الآنية بالنسبة إلى القطار بنفس الطريقة التي نحددها بها بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية . ويجابها السؤال التالي نتيجة طبيعية لما تقدم :

هل تكون الحادثتان الآتيتان بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية (مثل الصاعقتين ١ ، ب) آتيتين أيضاً بالنسبة إلى القطار ؟ وسنوضح مباشرة فيما يلي أن الإجابة على هذا السؤال يجب أن تكون بالنفي .

إتنا حينما نقول إن الصاعقتين ١ ، ب آتيتان بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية نعى أن أشعة الضوء الصادرة من المكانين ١ ، ب حيث تحدث الصاعقتان تتقابل في النقطة (و) (وهي منتصف المسافة ١ ، ب على الطريق)

وينظر الحادثان أيضاً على طريق السكة الحديدية الموضعين أ ، ب ، على
القطار ولنفرض أن النقطة (و) هي نفس نقطة الوسط للمسافة أ ب على
القطار فإنه عندما يحدث وميض البرق (١) تتفق النقطة (و) مع النقطة (و)
لكنها كما في الرسم التوضيحي تتحرك إلى اليمين بسرعة قدرها ع هي سرعة
القطار فإذا كان هناك راصد يجلس في (و) في القطار ولا يتحرك بالسرعة
ع فإنه سيظل دائماً في (و) وسيصل إليه شعاعا الضوء الصادران من أ ، ب
في نفس الوقت حيث يلتقيان عند مكان جلوسه ولكنه في الواقع (بالنسبة
إلى طريق السكة الحديدية) يندفع في اتجاه شعاع الضوء الآتي من ب بينما
يبتعد عن الشعاع الآتي من أ وعلى ذلك سيرى الراصد الشعاع الآتي من ب
قبل أن يرى الشعاع الآتي من أ وعلى ذلك نصل إلى النتيجة الهامة التالية :

إن الحوادث الآنية بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية ليست آنية بالنسبة
إلى القطار والعكس بالعكس (نسبية الآنية) فكل مجموعة إسناد (مجموعة
إحداثيات) زمنها الخاص . ومالم نعين مجموعة الإسناد التي حددنا بالنسبة
لها زمن أية حادثة فليس هناك أى معنى لهذا التحديد .

وقبل ظهور نظرية النسبية كانت الفيزياء تسلم تسليماً أعمى بأن الزمن
أمر مطلق أى أنه مستقل عن حالة الحركة أو السكون التي عليها مجموعة الإسناد.
ولقد رأينا الآن أن هذا الزعم لا يتفق مع تصور الآنية الطبيعي جداً وإذا
أسقطناه اختفى التناقض الظاهري بين قانون انتشار الضوء في الفراغ ومبدأ
النسبية (كما أوضحنا في الفصل السابع) .

ولقد أوقفنا الاعتبار التي استعرضناها في الفصل الثالث (وهي
اعتبارات بالية لا يمكن التمسك بها) في هذا التناقض ؛ فقد ذكرنا في ذلك
الفصل أن الرجل الذي يقطع وهو في العربة المسافة ف بالنسبة للعربة يقطع

(١) كما يظهر من طريق السكة الحديدية .

نفس المسافة في نفس المدة بالنسبة إلى قضيب السكة الحديدية . وها نحن نرى في ضوء ما ذكر في الفصل الحالى أن الزمن الذى تستغرقه حادثة ما بالنسبة إلى عربة القطار لا يجوز أن يعتبر مساوياً للزمن الذى تستغرقه نفس الحادثة بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية، وعلى ذلك لا يمكن أن نوافق على أن الرجل حينما يمشى في العربة ويقطع بالنسبة لها المسافة فـ « في الثانية » ، يقطع نفس المسافة في زمن مساو بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية .

وفوق ذلك فإن اعتبارات الفصل السادس تعتمد على زعم آخر يبدو عند التحليل الدقيق حكماً تعسفياً ولو أننا كنا نلجأ إليه ضمناً بصورة مستمرة حتى قبل مجيء نظرية النسبية .

الفصل العاشر

حول نسبية تصور المسافة

دعنا نتخيل نقطتين معينتين على القطار (مثل منتصف العربّة الأولى ومنتصف العربّة العشرين) الذى يتحرك على قضيب السكة الحديدية بسرعة ع . ودعنا نبحث عن المسافة التى تفصلهما . إننا نعلم مقدماً أنه يجب علينا أن نحصل على مجموعة إسناد نقيس المسافات بالنسبة إليها ، وأبسط الأمور هو أن نعتبر القطار نفسه مجموعة الإسناد (مجموعة إحداثيات) والمسافر فى القطار يستطيع أن يقيس المسافة باستعمال قضيب القياس فى خط مستقيم (أى بتطبيقه على أرضية العربات العدد الكافى من المرات للوصول من النقطة الأولى إلى الثانية) ويحدد العدد الدال على عدد مرات تطبيق قضيب القياس طول المسافة المطلوبة .

ولكن الأمر يختلف عن ذلك إذا أردنا قياس هذه المسافة بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية ويبدو هنا أن الطريقة المثالية لذلك هى : إذا سمينا A و B النقطتين اللتين على القطار الذى يتحرك بالسرعة ع واللّتين يراد إيجاد المسافة التى تفصل بينهما فإن هاتين النقطتين تتحركان على طول الطريق بالسرعة ع أيضاً ونحن نحتاج أولاً إلى أن نعين النقطتين A' و B' على طريق السكة الحديدية التى مرت عليهما النقطتان A و B على القطار فى زمن معين ز بالنسبة إلى الطريق . وهاتان النقطتان (A' و B') على الطريق الحديدى يمكن تحديدهما تبعاً لتعريف الزمن الذى قدمناه فى الفصل الثامن والمسافة بين هاتين النقطتين (A' و B') يمكن أن تقاس إذاً بتكرار عملية تطبيق قضيب القياس على طول الطريق .

وليس هناك أى سبب أولى لأن تؤكد أن عملية القياس الأخيرة تتفق في النتيجة مع عملية القياس الأولى . وهكذا قد يكون طول القطار مقيساً بالنسبة إلى الطريق مختلفاً عن طوله مقيساً بالنسبة إلى القطار نفسه . وهذا الظرف يؤدي بنا إلى إعتراض ثان على آراء الفصل السادس التي تبدو ظاهرياً واضحة ، وهو أنه إذا كان الرجل الذي في العربة يقطع المسافة ف (مقيسة بالنسبة إلى القطار) في وحدة الزمن فإن هذه المسافة (مقيسة بالنسبة إلى الطريق) ليست بالضرورة متساوية مع ف .

الفصل الحادى عشر

تحويل لورنتز

إذا استعرضنا نتائج ثلاثة الفصول الأخيرة نرى أن عدم التوافق الظاهرى الذى نجده بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية (الفصل السابع) نشأ عن التسليم فى الميكانيكا الكلاسيكية بفرضين لم يقم عليهما أى دليل . وهذان الفرضان هما :

- ١ - الفترة الزمانية (الزمن) التى تفصل بين حادثتين مستقلة عن حالة الحركة التى عليها مجموعة الإسناد التى نرجع إليها .
- ٢ - الفترة المكانية (المسافة) بين نقطتين على جسم جاسىء مستقلة عن حالة الحركة التى عليها مجموعة الإسناد التى نرجع إليها .

فإذا أنسقطنا هذين الفرضين اختفت مشكلة الفصل السابع لأن نظرية محصلة السرعات التى استنتجناها فى الفصل السادس تصبح خطأ . وعند ذلك يبدو أن قانون انتشار الضوء فى الفراغ قد يكون متفقاً مع مبدأ النسبية . ويصبح المطلوب معرفته هو كيف يجب تعديل الاعتبارات التى أوضحناها فى الفصل السادس حتى نزيل التناقض الظاهرى بين هاتين النتيجةين التجريبيتين الأساسيتين ؟ وهذا السؤال يقودنا إلى سؤال أعم فقد كان لدينا فى الفصل السادس أمكنة وأزمة مسندة إلى كل من القطار والطريق الحديدى فكيف نجد زمن ومكان حادثة بالنسبة إلى القطار إذا كنا نعرف مكانها وزمانها بالنسبة إلى الطريق الحديدى . . ؟ هل من المستطاع الإجابة

على هذا السؤال بحيث لا يتعارض قانون انتشار الضوء في الفراغ مع مبدأ النسبية ؟ أو بعبارة أخرى هل من الممكن إيجاد علاقة بين زمان ومكان الحادثة الواحدة بالنسبة إلى كلتا مجموعتي الإسناد بحيث يكون لكل شعاع من أشعة الضوء السرعة c بالنسبة إلى القطار والطريق معاً ؟ إن الإجابة على هذا السؤال هي بالإيجاب وهي إجابة محددة جداً يعبر عنها قانون محدد لتحويل المقادير الزمكانية للحادثة الواحدة تبعاً لتغير مجموعة الإسناد التي تسند إليها .

وقبل أن نتعرض لهذا الموضوع دعنا نقدم له بما يلي
لقد وجهنا اهتمامنا حتى الآن إلى الحوادث التي تحدث على الطريق الحديدي والتي اعتبرت رياضياً على خط مستقيم وبالطريقة التي أوضحناها في الفصل الثاني نستطيع أن نتخيل أن هذا المسند إليه مزود جانبياً ورأسياً بهيكل من قضبان القياس المتعامدة بحيث يمكن تحديد مكان أية حادثة بالنسبة إلى هذا الهيكل . وبالمثل فإننا نستطيع أن نتخيل القطار الذي يتحرك بالسرعة c مستمراً في كل الفضاء بحيث يمكن تحديد مكان أية حادثة مهما كانت بعيدة بالنسبة لهذا الهيكل الثاني ، ونستطيع دون أن نرتكب أي خطأ أساسي أن نتجاوز عن تداخل هذه الهياكل باستمرار معاً حيث أن الأجسام الجاسئة لا تتداخل فيما بينها .

وفي كل هيكل من هذه الهياكل نتخيل ثلاثة سطوح متعامدة على بعضها البعض تسمى مستويات إحداثية (مجموعة إحداثيات) وعلى ذلك يمثل الطريق الحديدي مجموعة الإحداثيات x وأية حادثة أينما تحدث يمكن تحديد مكانها بالنسبة إلى x بواسطة ثلاثة أعمدة x y z على المستويات الإحداثية وبالنسبة للزمن بالقيمة الزمنية t أما بالنسبة إلى x فيحدد مكان نفس الحادثة وزمانها القيم x y z t المقابلة وهي تختلف عن x y z t وقد أوضحنا بالتفصيل فيما تقدم كيف

يجب أن نعتبر هذه المقادير نتائج للقياس الفزيائي .

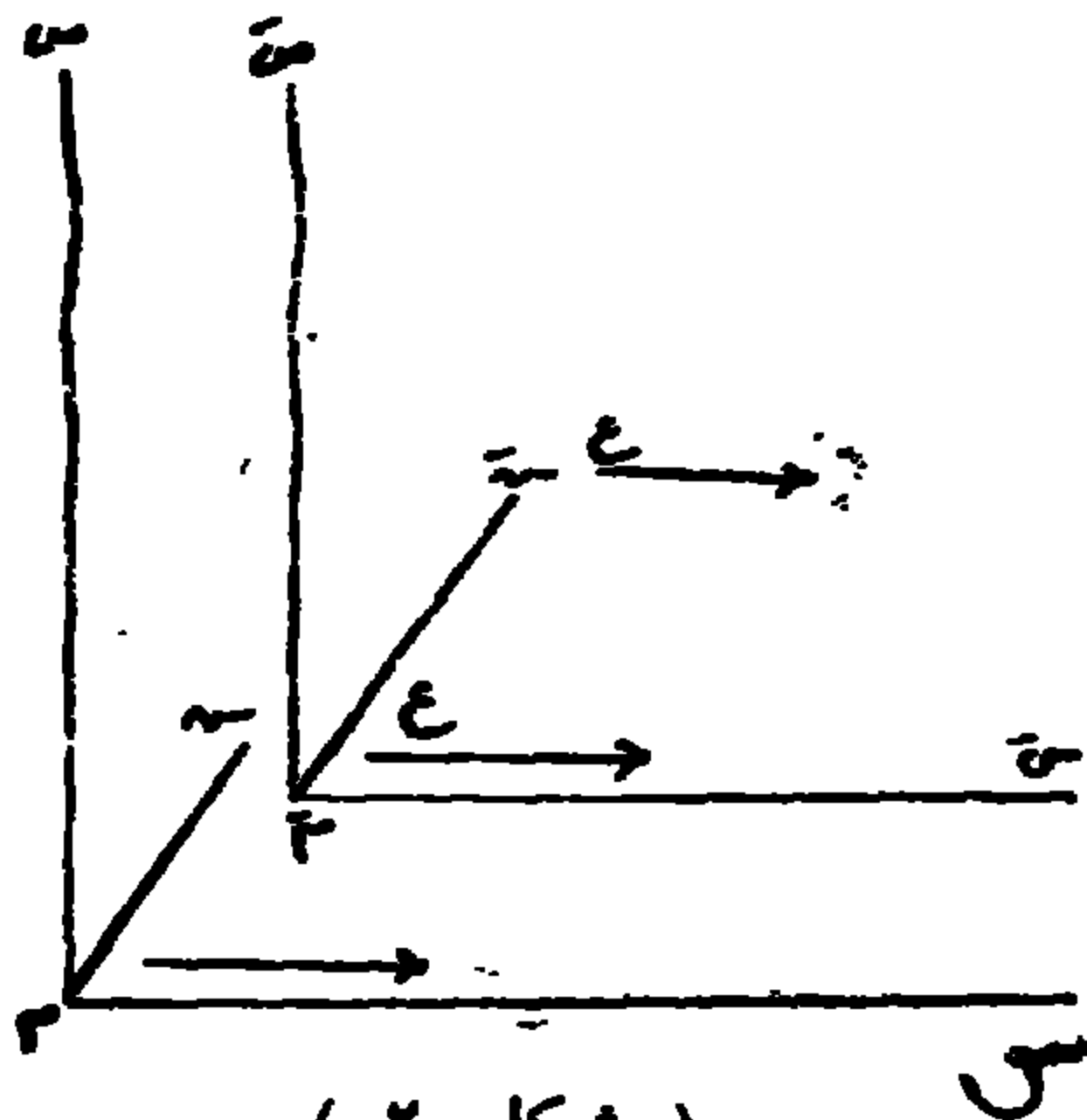
من الواضح أننا نستطيع أن نضع المشكلة على النحو الآتي : —

ما هي قيم المقادير s ، v ، s' ، v' ، z ، z' لحدثة ما بالنسبة إلى m إذا كنا نعلم قيم المقادير s ، v ، s' ، v' ، z ، z' لنفس الحادثة بالنسبة إلى m . . . ؟ ويجب أن نختار العلاقات بين هذه القيم بحيث تحترم قانون انتشار الضوء في الفراغ بالنسبة إلى m وبالرجوع إلى الوضع الموضح في (الشكل ٢) لمجموعة الإحداثيات نجد أن حل المشكلة تقدمه المعادلة : —

$$s' = \frac{s - v z}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v' = v$$

$$s = s'$$



(شكل ٢)

$$z' = \frac{z - \frac{v}{c^2} s}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

وتعرف هذه المجموعة من المعادلات بتحويل لورنتز ولو جعلنا أساساً لنا بدلا من قانون انتشار الضوء تلك المزايم الضمنية التي كانت تركز إليها الميكانيكا قديماً والتي تركز على فكرة الطابع المطلق للأزمنة والأطوال حصلنا بدلا من المعادلات السابقة على المعادلات التالية :

$$s' = s - c z$$

$$s' = s$$

$$s' = s$$

$$z' = z$$

وتسمى غالباً هذه المجموعة الأخيرة من المعادلات بتحويل جاليليو . ويمكننا الحصول على تحويل جاليليو من تحويل لورنتز ، إذا عوضنا عن سرعة الضوء c في التحويل الأخير (تحويل لورنتز) بكمية متناهية الكبر . وفيما يلي تستطيع أن ترى فوراً أن قانون انتشار الضوء في الفراغ تبعاً لتحويل لورنتز واحد بالنسبة لكل من مجموعة الإسناد s ومجموعة الإسناد s' . ولذلك نرسل إشارة ضوئية على طول المحور الإيجابي s وهذا المؤثر الضوئي يتقدم تبعاً للمعادلة : $s = cz'$ أي بسرعة الضوء c وتبعاً لمعادلات تحويل لورنتز نرى أن هذه العلاقة البسيطة بين s و z تعنى علاقة بين s' و z' ونحن في الواقع إذا عوضنا عن s بالمقدار cz في المعادلة الأولى والمعادلة الرابعة من معادلات تحويل لورنتز حصلنا على : —

$$s' = \frac{(c - cz')}{\sqrt{\frac{c^2}{c'^2} - 1}}$$

$$z' = \frac{(c - cz')}{\sqrt{\frac{c^2}{c'^2} - 1}}$$

ومنها نحصل بالقسمة على المعادلة :

$$س' = ح ز'$$

وإذا أسندنا إلى المجموعة مـ يحدث انتشار الضوء تبعاً لهذه المعادلة .
وهكذا نرى أن سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى المجموعة مـ تساوى
أيضاً ح ونحصل على نفس النتيجة لاشعة الضوء التى تنتشر فى أى اتجاه
كان . وطبعاً ليس فى هذا أى غرابة حيث إن معادلات تحويل لورنتز
قد اشتقت وفقاً لهذا الرأى .

الفصل الثاني عشر

سلك الساعات وقضبان القياس المتحركة

هـب أننى أضع قضيباً طوله متر فى اتجاه المحور س لمجموعة الإحداثيات م بحيث يتفق أحد طرفيه (البداية) مع نقطة الصفر بينما يتفق الطرف الثانى (النهاية) مع النقطة س = ١ فما طول هذا القضيب بالنسبة إلى م ؟ وحتى نحصل على ذلك ما علينا إلا أن نبحث أين يقع مبدأ القضيب ونهايته بالنسبة إلى م عند الزمن ز الخاص بالمجموعة م وبوساطة المعادلة الأولى من تحويل لورنتز نجد أن قيمة هاتين النقطتين عند الزمن ز = صفر يمكن إثبات أنها :

$$\begin{aligned} \text{س (ابتداء القضيب)} &= \text{صفر} \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \text{س (نهاية القضيب)} &= 1 \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

وتكون المسافة بين النقطتين هى $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ولكن قضيب القياس يتحرك بالسرعة ع بالنسبة إلى م وعلى ذلك نجد أن طول قضيب قياس جامى طوله متر يتحرك فى اتجاه طوله بسرعة قدرها ع هو $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ من المتر وهكذا يكون القضيب الجامى أقصر فى حالة الحركة منه فى حالة السكون ، وكلما زادت سرعة حركته زاد قصره بحيث إذا بلغت السرعة ع = ح أصبح طوله $\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) = \text{صفر}$ وعند السرعات الأكبر

من حـ يصبح الجذر التربيعي خيالياً . ومن هذا نستنتج أن السرعة حـ في نظرية النسبية تلعب دور السرعة القصوى التي لا يمكن أن يبلغها أو يزيد عنها أى جسم حقيقي .

وواضح بالطبع أن هذا المظهر للسرعة حـ كسرعة قصوى جاء نتيجة لمعادلات تحويل لورنتز لأنها تصبح لا معنى لها إذا اخترنا قيمة للسرعة أكبر من حـ وعلى العكس لو أننا تأملنا قضيب قياس طوله متر في حالة سكون وفي المحور (س) بالنسبة إلى م لوجدنا أن طوله بالنسبة إلى راصد في م سيكون $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ وهذا متفق تماماً مع مبدأ النسبية وهو أساس تأملاتنا .

وواضح بداهة أن معادلات التحويل تهيء لنا حتماً فرصة معرفة الشيء الكثير عن السلوك الفيزيائي لكل من قضبان القياس والساعات لأن المقادير س . ص . سه . ز ليست إلا نتائج قياسات لا أكثر ولا أقل يمكن الحصول عليها عن طريق قضبان القياس والساعات . ولو أننا جعلنا أساساً لتفكيرنا التحويل الجاليلي لما حصلنا على انكماش القضيب نتيجة لحركته .

دعنا الآن تأمل ساعة موضوعة دائماً عند أصل م (س = صفر) ، ز = صفر ، ز' = ١ هما دقتان متتاليتان لهذه الساعة والمعادلتان الأولى والرابعة من تحويل لورنتز تعطيانا طائنين الدقتين :

$$\begin{aligned} z &= \text{صفر} \\ z' &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}$$

وكما يبدو من م تتحرك الساعة بالسرعة c وعلى ذلك تكون فترة الزمن

بين الدقتين بالنسبة إلى م ليست ثانية ولكن $\sqrt{1 - \frac{c^2}{c_0^2}}$ من الثواني أى
 زمناً أكثر قليلاً وعلى ذلك تكون الساعة أبطأ في حالة الحركة منها في
 حالة السكون . وهنا أيضاً تلعب السرعة دوراً الهاماً القصوى التي
 لا يمكن بلوغها .

الفصل الثالث عشر

نظرية محصلة السرعات

تجربة فيزو

إننا في الحياة العملية لا نحرك الساعات وقضبان القياس إلا بسرعات ضئيلة إذا ما قورنت بسرعة الضوء وعلى ذلك لن نستطيع أن نتحقق من نتائج الفصل السابق عملياً . ومع ذلك لا بد أنه قد لفت نظرك غرابة هذه النتائج ولهذا يسرنا أن نستخلص من النظرية تبعاً لما أوضحناه في الفصل السابق نتيجة قد تم التحقق منها عملياً بصورة شائقة . لقد اشتققنا في الفصل السادس نظرية محصلة السرعات في اتجاه واحد على النحو الذي تتبعه الميكانيكا الكلاسيكية ويمكن استنتاج هذه النظرية أيضاً من تحويل جاليليو (الفصل الحادى عشر) فبدلاً من الرجل الذى يمشى فى عربة القطار نتصور نقطة تتحرك بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات مَ حسب المعادلة :

$$س = ع + ز$$

وبوساطة المعادلة الأولى والرابعة من تحويل جاليليو يمكننا التعبير عن سَ كَ زَ بدلالة سَ زَ عندئذ نحصل على المعادلة $س = (ع + ز)$ وهذه المعادلة لا تعبر عن شيء سوى قانون حركة النقطة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد مَ (أو الرجل بالنسبة إلى الطريق الحديدية) وسنرمز إلى هذه السرعة بالرمز عـ . وحينئذ نحصل كما فى الفصل السادس على .

$$ع = (ع + ز) \quad (1)$$

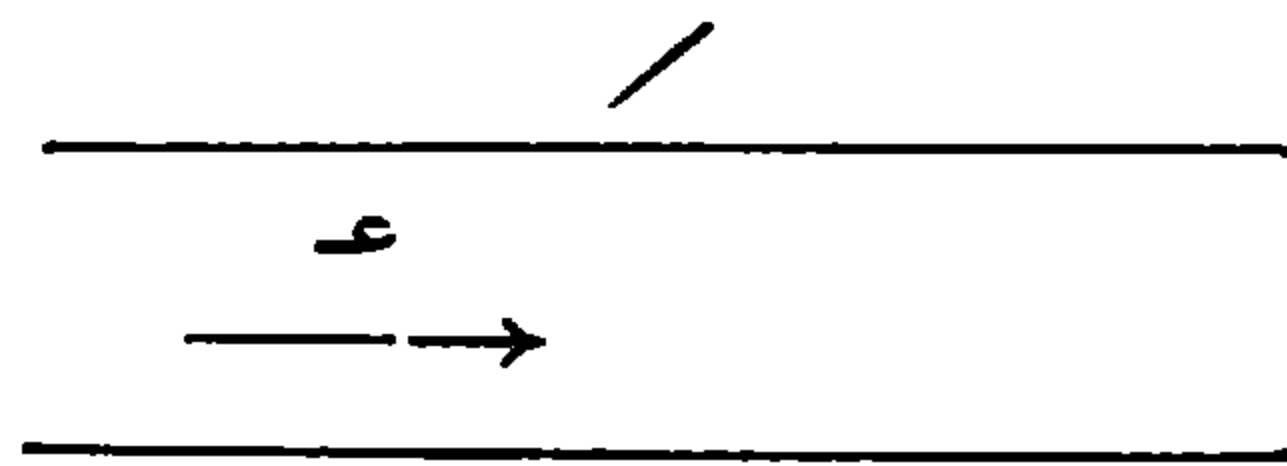
ولكننا نستطيع أن نجرى العملية نفسها على أساس نظرية النسبية عند ذلك يجب علينا أن نعبّر عن s و z في المعادلة :

$$s = z \cdot \gamma$$

بدلالة s و z وباستعمال المعادلتين الأولى والرابعة من تحويل لورنتز نحصل بدلا من المعادلة (١) على المعادلة :

$$\frac{c + v}{c} = \frac{c}{c + v} \quad (٢)$$

وهو ما يناظر محصلة السرعات في اتجاه واحد تبعاً لنظرية النسبية .
والسؤال الذى يجابهنا الآن هو : أى هاتين النظريتين أكثر اتفاقاً مع التجربة . . . ؟ وفى هذا الموقف تسعفنا وتشد أزرنّا تجربة على جانب عظيم من الأهمية أجراها الفزيائى القدير فيزو منذ أكثر من نصف قرن وأعاد إجرائها منذ ذلك الحين عدد من أحسن الفزيائيين التجريبيين حتى أصبحت نتيجتها لا يتطرق إليها شك على الإطلاق . والتجربة تدور حول المسألة التالية : إن الضوء ينتقل فى سائل ساكن بالسرعة c فبأية سرعة ينتقل فى اتجاه السهم فى الأنبوبة (انظر الشكل ٣) إذا كان السائل المذكور عاليه يندفع هو نفسه فى الأنبوبة بالسرعة c . . . ؟



(شكل ٣)

سيكون علينا تمشياً مع مبدأ النسبية أن نسلم بأن انتشار الضوء سيحدث دائماً بنفس السرعة c بالنسبة للسائل سواء أكان هذا السائل يتحرك بالنسبة للأجسام الأخرى أم لا وهكذا تصبح سرعة الضوء بالنسبة إلى السائل معروفة وسرعة السائل بالنسبة إلى الأنبوبة معروفة أيضاً ونريد معرفة سرعة الضوء بالنسبة إلى الأنبوبة .

وواضح أن المشكلة التي أمامنا الآن هي نفس مشكلة الفصل السادس حيث تلعب الأنوبة دور الطريق الحديدية أو مجموعة الإسناد مـ وأخيراً سنجد أن الضوء يلعب دور الرجل الذي كان يمشى بطول العربة . فإذا رمزنا إلى سرعة الضوء بالنسبة إلى الأنوبة بالرمز c فإننا يمكن أن نحصل عليها من المعادلتين (1) و (2) الأولى باستعمال تحويل جاليليو والثانية باستعمال تحويل لورنتز فأى الجوابين هو الصحيح ؟ ولقد جاءت التجربة في جانب المعادلة (1) المشتقة من نظرية النسبية والاتفاق بينهما تام جداً ، وتبعاً لأدق القياسات التي قام بها زيمان تعبر المعادلة عن تأثير سرعة جريان السائل غ على انتقال الضوء إلى ترتيب يقرب من 1/10 .

ومع ذلك يجب أن لا يفوتنا الآن التنبيه إلى أن نظرية تفسر هذه الظاهرة كان قد سبق أن قدمها هـ . ا . لورنتز قبل مجيء نظرية النسبية بوقت طويل ، ولكن نظريته وكانت ديناميكية كهربية بحثة في طبيعتها كان قد حصل عليها بالالتجاء إلى فروض أخرى حول البناء الكهرومغناطيسى للمادة . وهذا الوضع مع ذلك لا يقلل أبداً من نتيجة التجربة كاختبار هام يؤيد نظرية النسبية لأن الديناميكا الكهربية التي وضعها ماكسويل ولورنتز والتي قامت على أساسها النظرية الأولى لتفسير التجربة لا تتعارض بأى شكل مع نظرية النسبية ، بل إن هذه الأخيرة قد نبعت من الديناميكا الكهربية كنظرية تجمع وتعمم بطريقة مذهلة الافتراضين اللذين بنيت عليهما الديناميكا الكهربية واللذين كانا قبل ذلك مستقلين الواحد عن الآخر .

(1) لقد وجد فيزو أن $c = c' + v$ ($\frac{1}{v} + 1$) حيث $v = \frac{c}{n}$ وهو معامل انكسار السائل ومن الناحية الأخرى بالنسبة إلى صفر $\frac{c}{c'}$ مقارنة بالواحد الصحيح يمكن أن تستبدل (ب) أولاً بالمقدار $c = c' + v$ ($\frac{c}{c'} - 1$) أو إلى نفس درجة التقريب بالمقدار : $c + v$ ($\frac{1}{v} + 1$) وهي تتفق ونتيجة فيزو .

الفصل الرابع عشر

القيمة الكاشفة للنظرية النسبية

نستطع أن نلخص سلسلة أفكارنا السابقة فيما يلي : لقد أدت بنا التجربة إلى الافتناع بأمرين : صدق مبدأ النسبية من ناحية وأن سرعة انتقال الضوء في الفراغ يجب اعتبارها مقداراً ثابتاً من الناحية الأخرى ، وباتخاذ هذين الفرضين الأساسيين حصلنا على قانون تحويل الإحداثيات المتعامدة s, s', z والزمن t, t' للحوادث — وهي لب جميع العمليات الطبيعية — وفي هذه الحالة لم نحصل على تحويل جاليليو ولكننا حصلنا بخلاف الحال في الميكانيكا الكلاسيكية على تحويل لورنتز .

ولقد لعب قانون انتشار الضوء وصحته واضحة للبيان دوراً هاماً في الوصول إلى هذه النتيجة ومادام لدينا تحويل لورنتز فإننا نستطيع أن نجعل منه وبين مبدأ النسبية لنحصل على النظرية على النحو التالي :

« يجب أن تكون القوانين الطبيعية العامة بحيث لا تتغير إذا استبدلت المتغيرات s, s', z المتعلقة بمجموعة الإحداثيات الأصلية m بالمتغيرات s'', s''', z'' الخاصة بمجموعة الإسناد m' وفي هذه الحالة يحدد العلاقة بين المتغيرات الأولى والثانية تحويلات لورنتز أو بعبارة أخرى مختصرة يجب أن تكون القوانين الطبيعية متغيرات متعددة بالنسبة إلى تحويلات لورنتز . »

هذا هو الشرط الرياضى المحدد الذى تستوجهه نظرية النسبية فى أى قانون طبيعى . ولذلك أصبح للنظرية أثر كاشف عميق فى البحث عن القوانين الطبيعية العامة . فإذا وجد أن قانوناً عاماً من قوانين الطبيعة لا يحقق هذا الشرط . فعلى الأقل لابد أن يكون أحد الفرضين الأساسيين للنظرية خاطئاً . والآن دعنا نرى النتائج العامة التى أدت إليها هذه النظرية .

الفصل الخامس عشر

النتائج العامة للنظرية

اتضح في سياق ما تقدم أن نظرية النسبية الخاصة قد تبلورت من دراسة الضوء والديناميكا الكهربائية وهي لم تغير النتائج النظرية في هذين المجالين ولكنها بسّطت إلى حد بعيد البناء النظري — أى اشتقاق القوانين — والأهم من ذلك بمراحل أنها اختصرت إلى حد بعيد عدد الفروض المستقلة التي كانت تستند إليها وتقوم عليها وجهة النظر السابقة . ولقد جعلت نظرية النسبية الخاصة نظرية ما كسويل لورنتز مرضية بشكل جعل علماء الفيزياء على استعداد لقبولها ولو لم تكن جميع التجارب قد وقفت في صفها وأيدتها تأييداً كاملاً .

واحتاج الأمر إلى تعديل الميكانيكا الكلاسيكية حتى تتفق مع نظرية النسبية الخاصة . ولم تؤثر هذه التعديلات تأثيراً جوهرياً إلا في القوانين التي تتعلق بالسرعات الكبيرة أى عندما تقترب سرعة الأجسام المتحركة من سرعة الضوء . وليس لدينا مثال لهذه السرعات إلا ما يتعلق بالإلكترونات والأيونات أما بالنسبة للسرعات الأخرى فقد كان الاختلاف بين نتائج قوانين الميكانيكا الكلاسيكية ونتائج نظرية النسبية الخاصة أضال من أن يظهر عملياً وسوف لا نتعرض لحركة النجوم إلى أن ندرس نظرية النسبية العامة . إن طاقة الحركة لنقطة مادية تتحرك لم يعد يحددها المقدار المعروف

لـ $\frac{E}{c^2}$ بل يعبر عنها بالتعبير :

$$\frac{L^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

وهذا المقدار يقترب من ما لا نهاية كلما اقتربت السرعة v من سرعة الضوء c ، وعلى ذلك يجب أن تظل السرعة دائماً أقل من c مهما كبرت العجلة وإذا وضعنا التعبير عن طاقة الحركة على شكل متسلسلة حصلنا على :

$$L^2 + \frac{L^2 v^2}{2c^2} + \frac{L^2 v^4}{8c^4} + \dots$$

عندما يكون الحد $\frac{L^2 v^2}{2c^2}$ صغيراً مقارنة بالواحد الصحيح فإن الثالث من هذه الحدود يكون دائماً صغيراً مقارنة بالحد الثاني، وهذا الأخير هو الذي يوضع وحده موضع الاعتبار في الميكانيكا الكلاسيكية . والحد الأول L^2 لا يتضمن السرعة وليس هناك محل للنظر إليه الآن إذا كان ما يعيننا هو مسألة كيفية اعتماد طاقة النقطة المادية على السرعة وسنتكلم عن المعنى الاسامي لذلك الحد فيما بعد .

وأهم النتائج ذات الطابع العام التي أدت إليها نظرية النسبية الخاصة تتعلق بفكرة الكتلة؛ فقبل مجيء النسبية كانت الفزياء تسلم بقانوني بقاء لهما أهمية أساسية هما قانون بقاء الطاقة وقانون بقاء الكتلة . وكان هذان القانونان يبدوان مستقلين عن بعضهما البعض تماماً . ولكنهما عن طريق نظرية النسبية قد ادجيا في قانون واحد وسنرى فيما يلي باختصار كيف تم هذا التوحيد وأي معنى يحمله ذلك في طبيعته .

إن مبدأ النسبية يتطلب أن يكون قانون بقاء الطاقة صحيحاً لا بالنسبة إلى مجموعة الأحداث وحدها بل أيضاً إلى كل مجموعة أحداثيات M في حالة حركة منتظمة بالنسبة إلى المجموعة M أو باختصار بالنسبة إلى كل

مجموعة إسناد جاليلية . ويتطلب أيضاً وذلك على عكس ما في الميكانيكا الكلاسيكية أن يكون تحويل لورنتز هو العامل الحاسم في الانتقال من مجموعة كهذه إلى أخرى .

وبقليل من التأمل البسيط نسبياً نجد أننا نصل إلى النتيجة التالية من هذه المقدمات ، وذلك متفق مع المعادلات الأساسية للديناميكا الكهربائية لماكسويل : إذا امتص جسم يتحرك بالسرعة v مقداراً من الطاقة ϵ (1) على شكل إشعاع دون أن يحدث نتيجة لذلك أى تغيير فى سرعته فإن طاقته تزيد نتيجة لذلك بالمقدار :

$$\frac{\epsilon}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

وبتأمل التعبير الذى قدمناه آنفاً لطاقة الحركة للجسم نجد أن طاقة الحركة المطلوبة للجسم تصبح :

$$\frac{\left[\epsilon + \frac{v}{c^2} \right]}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

وهكذا تصبح للجسم نفس الطاقة التى لجسم كتلته $\left[\epsilon + \frac{v}{c^2} \right]$ ويتحرك بالسرعة v . من هنا يمكن أن نقول : إذا اكتسب جسم قدراً من

(1) v هى الطاقة المستمدة كما تبدو بالنسبة الى مجموعة اسناد تتحرك مع الجسم .

الطاقة ν فإن كتلته القصورية تزيد بالمقدار $\frac{\nu}{c^2}$ وليست كتلة القصور

لجسم ما ثابتة بل تتغير تبعاً لتغير طاقة الجسم . بل يمكن أن نقول إن كتلة قصور مجموعة من الأجسام يمكن أن تعتبر دليلاً على مقدار طاقتها . وعلى ذلك يصبح قانون بقاء كتلة مجموعة ما مطابقاً لقانون بقاء الطاقة للمجموعة نفسها . وهو صحيح مادامت المجموعة لا تمتص ولا تشع أية طاقة . وإذا عبرنا عن الطاقة بالتعبير :

$$\frac{E}{c^2} = \frac{m_0 c^2 + \nu}{c^2}$$

وجدنا أن الحد $m_0 c^2$ الذي لفت نظارنا من قبل ليس إلا مقدار الطاقة (١) التي يملكها الجسم قبل أن يمتص ν .

وليس من المستطاع حالياً المقارنة المباشرة بالتجربة لهذه العلاقة (كان ذلك صحيحاً سنة ١٩٢٠ ولكن انظر التعليق في آخر هذا الفصل) بالنسبة لأن تغيرات الطاقة ν التي يمكن أن تعرض لها مجموعة ما ليست كبيرة بالحد الكافي لأن تجعل نفسها محسوسة كتغير في كتلة قصور المجموعة حيث إن $\frac{\nu}{c^2}$ مقدار صغير جداً بالمقارنة بالكتلة m_0 التي كانت موجوده قبل تغير الطاقة، ولهذا السبب استطاعت الميكانيكا الكلاسيكية بنجاح أن تعتبر قانون بقاء الكتلة قانوناً صحيحاً مستقلاً بذاته .

ودعني أضيف إلى ما تقدم ملاحظة أخيرة أساسية الجوهر . إن النجاح الذي حققته تفسيرات فرداي - ماكسويل للتأثير الكهرومغناطيسي عن بعد قد جعلت الفيزيائيين أكثر اقتناعاً بأنه لا وجود لشيء من نوع

(١) كما تبدو لمجموعة احداثيات تتحرك مع الجسم .

« التأثير الفوري عن بعده (أى الذى لا يتضمن وسطاً بينها) الذى نجده
فى قانون الجاذبية لنيوتن . وحسب نظرية النسبية يحل التأثير عن بعد بسرعة
الضوء دائماً محل التأثير الفورى أو التأثير عن بعد بسرعة انتشار لانهاية
وهذا مرتبط بحقيقة أن السرعة c تلعب دوراً أساسياً فى النظرية . وفى
الجزء الثانى من هذا الكتاب سنرى بأى شكل ستتعدل هذه النتيجة فى
نظرية النسبية العامة

تعليق : مع تقدم عمليات التحويل النووية التى تنشأ من قذف
العناصر بدقائق ألفا أو البروتونات أو أشعة جاما تأكدت علاقة تكافؤ
الكتلة والطاقة حسب المعادلة $E = mc^2$ فمجموع الكتل المتبادلة التأثير
مضافاً إليه مكافئ الكتلة للطاقة الحركية لل دقائق المقذوفة (الفوتون) أكبر
دائماً من مجموع الكتل الناتجة عن التحويل والفرق بينها هو الكتلة المكافئة
لطاقة الحركة لل دقائق المتولدة أو الطاقة الكهرومغناطيسية المشعة
(فوتونات جاما) . وبنفس الطريقة نجد أن كتلة الذرة المشعة التى تتحلل
فجأة أكبر دائماً من مجموع كتل الذرات الناشئة بمقدار الكتلة المكافئة
لطاقة الحركة لل دقائق المتولدة (أو الطاقة الفوتونية) وقياسات الطاقة المتولدة
عن التفاعلات النووية هى ومعادلات هذه التفاعلات يجعلان من الممكن
تقدير الأوزان الذرية بغاية الدقة .

الفصل السادس عشر

نظرية النسبية الخاصة والتجربة

إلى أى مدى تؤيد التجربة نظرية النسبية الخاصة . . . ؟ ليس من السهل الإجابة على هذا السؤال للسبب الذى سبق ذكره عند الكلام عن تجربة فيزو الأساسية . وكلنا نعلم أن نظرية النسبية الخاصة قد تبلورت من نظرية ماكسويل لورنتز عن الظواهر الكهرومغناطيسية ، وتبعاً لذلك فإن كل الحقائق التى تؤيد هذه النظرية الأخيرة تؤيد نظرية النسبية . ولكنى أقصر هنا على ذكر الحقيقة التالية وحدها نظراً لما لها من الأهمية البالغة . إن نظرية النسبية تتيح لنا أن نعرف مقدماً التأثيرات التى تتناول الضوء الآتى إلينا من النجوم الثابتة . ومن الممكن الوقوف على هذه التأثيرات بطريقة متناهية البساطة . وقد وجد أنها وهى راجعة إلى حركة الأرض بالنسبة لهذه النجوم الثابتة تتفق مع التجربة . ونحن نشير هنا إلى الحركة السنوية للموقع الظاهرى للنجوم الثابتة الناشئة عن دوران الأرض حول الشمس (الزيج) وإلى تأثير المركبات القطرية لحركات النجوم الثابتة بالنسبة إلى الأرض على لون الضوء الذى يصل إلينا منها ، وهذا التأثير الأخير عبارة عن انتقال طفيف فى خطوط الطيف فى الضوء المرسل من النجوم الثابتة إلينا إذا قورن بوضع نفس هذه الخطوط إذا كان مصدر الضوء على الأرض (ظاهرة دوبلر) ، والبراهين التجريبية التى تؤيد نظرية مكسويل - لورنتز وتؤيد أيضاً نظرية النسبية أكثر من أن تحصى هنا . وهى فى الحقيقة تحدد الإمكانيات النظرية بشكل لم تقو على الصمود أمامه غير نظرية ماكسويل لورنتز .

ولكن هناك مجموعتان من الحقائق التجريبية لا يمكن تطبيق نظرية ماكسويل لورنتز عليها إلا إذا أدخلنا على تلك النظرية - وذلك دون أن نلجأ إلى نظرية النسبية - فرضاً يبدو مفتعلاً .

فن المعروف أن أشعة المهبط وكذلك الأشعة المعروفة بأشعة بيتا التي تشعها المواد ذات الإشعاع كليهما تتكون من جسيمات صغيرة مشحونة بشحنة كهربية سالبة (إلكترونات) لها قصور ذاتي صغير جداً وسرعة كبيرة جداً. وإذا درسنا انحراف هذه الإشعاعات تحت تأثير المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية أمكننا أن نعرف بالضبط قانون حركتها .

وتواجهنا عند دراسة هذه الإلكترونات نظرياً في ضوء نظرية الديناميكا الكهربائية مشكلة ناشئة عن عجز هذه النظرية نفسها عن تفسير طبيعة الإلكترونات . فلما كانت الكتلة الكهربائية المتشابهة النوع تتنافر فيما بينها فإن الكتلة الكهربائية السالبة التي تكون الإلكترونات يجب أن تتنافر بفعل تنافرها فيما بينها ما لم تكن واقعة تحت تأثير قوى من نوع آخر لم تتضح لنا حتى الآن^(١) . فإذا فرضنا أن المسافات التي تفصل بين الكتلة الكهربائية التي تكون الإلكترونات تظل ثابتة أثناء تحركها بالنسبة لبعضها البعض (اتصال جاسيء بالمعنى الميكانيكي الكلاسيكي) فإن القانون الذي نصل إليه معبراً عن حركة الإلكترون لا يتفق مع التجربة . ولقد كان لورنتز هو أول من افترض من وجهة نظر شكلية بحتة أن شكل الإلكترون يعاني انكماشاً في اتجاه حركته وأن كمية الانكماش تناسب مع $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ وهذا الفرض الذي لا تبرره أي حقائق الديناميكا الكهربائية بمدنا بالقانون .

(١) توضح نظرية النسبية العامة أن الكتلة الكهربائية للالكترونات تتجمع معا تحت تأثير قوى الجذب .

ملخص بحركة الإلكترون وهو القانون الذى حققته التجربة بدقة
حافقة أخيراً .

ونظرية النسبية تؤدي إلى نفس قانون الحركة دون حاجة إلى أى افتراض
آخر فيما يتعلق ببناء أو سلوك الإلكترون . وقد وصلنا إلى نتيجة مماثلة لهذا
في الفصل الثامن فيما يتعلق بتجربة فيزو التى تنبأت نظرية النسبية بنتيجة
مطابقة لها دون حاجة إلى أى افتراض حول طبيعة السائل .

والمجموعة الثانية من الحقائق التى أشرنا إليها تتعلق بمسألة إمكان أو
استحالة جعل حركة الأرض فى الفضاء محسوسة بالتجربة على الأرض .
لقد لاحظنا فى الفصل الخامس أن كل المحاولات التى أجريت لهذا الغرض
كانت نتائجها سلبية . وقبل وضع نظرية النسبية لم يكن مستطاعاً إدراك سبب
هذه السلبية لأن الأفكار الخاطئة التى توارثناها عن الزمان والمكان حالت
بيننا وبين الشك فى قيمة التحويل الجاليلى فى حالة الانتقال من مجموعة
إسناد إلى مجموعة إسناد أخرى . فإذا افترضنا أن معادلات ماكسويل لورنتز
صحيحة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م مثلاً وجدنا عند تطبيقها على مجموعة إسناد
أخرى م' تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة إلى م أنها غير مطابقة وذلك فى حالة
افتراضنا أن علاقات التحويل الجاليلى بين إحداثيات مجموعة الإسناد م ومجموعة
الإسناد م' هى السائدة . وهكذا يبدو أنه من بين كل مجاميع الإسناد الجاليلية
هناك مجموعة إسناد واحدة م تقابل حالة خاصة من الحركة تتميز عما
عداها من المجموعات بحيث تبدو فريدة فى بابها . وقد فسر بعض العلماء
هذا الأمر فزيائياً بأن اعتبروا م فى حالة سكون بالنسبة « لآثير الفضاء »
الذى تخيلوه وفرضوا وجوده فرضاً ، بينما اعتبروا من الناحية الأخرى كل
مجموعات الإحداثيات م' التى تتحرك بالنسبة إلى م فى حالة حركة بالنسبة
لهذا الآثير . وقد نسبت إلى حركة م' فى الآثير (دفع الآثير بالنسبة إلى م)
أشد القوانين تعقيداً . والى كان يظن أنها تنطبق على م وبالتحديد استلزم

الامر أن نفترض دفع الأثير هذا قائما بالنسبة للأرض أيضاً . ولمدة طويلة وجه علماء الفيزياء جهودهم صوب محاولة الاستدلال على هذا الدفع على سطح الأرض .

وفي إحدى هذه المحاولات ابتكر ميكلسن محاولة تبدو حاسمة إذ تصور مرآتين مثبتتين على جسم جامد بحيث يتقابل سطحاهما العاكسان (وجهها لوجه) . يستغرق شعاع الضوء زمنا محدداً ليقطع المسافة بينهما ذهاباً وإياباً إذا كان الجهاز ثابتاً بالنسبة للأثير ولكن إذا كان الجهاز متحركاً بالنسبة للأثير فقد وجد بالتقدير الحسابي أن الزمن Z اللازم للعملية في هذه الحالة يختلف قليلاً عن الزمن Z ، وفوق ذلك فقد أظهر التقدير الحسابي أنه إذا كانت سرعة الجهاز v بالنسبة للأثير فإن هذا الزمن Z يختلف في حالة ما إذا كان اتجاه حركة الجسم عمودياً على مستوى المرآتين عنه في حالة ما إذا كان اتجاه حركته موازياً لهما . وبالرغم من أن الفرق بين هذين الزمنين ضئيل جداً فقد أجرى ميكلسن — موري تجربة على أساس التداخل الضوئي يمكن الاستدلال منها على ذلك الفرق . ومع كل جاءت نتيجة التجربة سلبية وكان هذا أمراً محيراً جداً لعلماء الفيزياء . وقد تغلب لورنتز وقزجرالد على هذا الموقف المتأزم بأن افترضوا أن حركة أى جسم بالنسبة للأثير تحدث انكماشاً في الجسم في اتجاه الحركة . وأن مقدار هذا الانكماش كاف لأن يعادل ذلك الفرق في الزمن الذي أشرنا إليه آنفاً . وبمقارنة هذا بما جاء في الفصل الثاني عشر نرى أنه من وجهة نظر النظرية النسبية كان هذا الحل للمشكلة هو الحل الصحيح ولكنه تم في نظرية النسبية على أساس أسلم جداً ، فليس في نظرية النسبية شيء مثل مجموعة الإحداثيات المميزة أو الفريدة التي استوجبت فكرة الأثير . وعلى ذلك فليس هناك دفع في الأثير وليس هناك داع لآية تجربة للاستدلال عليه . إن انكماش الأجسام

المتحركة يتبع المبدأين الأساسيين النظرية دون ما حاجة إلى اصطناع أى فروض خاصة. والعامل الأول فى هذا الانكماش ليس هو الحركة فى حد ذاتها فليس لها أى معنى مستقل إنما هو الحركة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد التى وقع عليها الاختيار وعلى ذلك فجهاز المرآة لميكلسن — مورلى لا يعانى انكماشاً بالنسبة إلى مجموعة إسناد تتحرك على الأرض ولكنه ينكمش بالنسبة إلى مجموعة إسناد فى حالة سكون بالنسبة إلى الشمس .

الفصل السابع عشر

فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد

إن القراء من غير الرياضيين ينتابهم الفزع والرعب حينما يقرأون عن الأشياء الرباعية الأبعاد ، وهم يحسون عند ذلك إحساساً لا يختلف كثيراً عما يحسون به فى مواجهة السحر والسحرة . ومع ذلك فليس هناك قول أعم من أن العالم الذى نعيش فيه متصل زمانى مكانى رباعى الأبعاد .

إن المكان متصل ثلاثى الأبعاد ، ونعنى بهذا أننا نستطيع أن نحدد موضع النقطة الساكنة بوساطة ثلاثة أعداد (إحداثيات) s . v . w وأن هناك عدداً لانهائياً من النقط المتجاورة يحدد موضع أياً منها الإحداثيات s . v . w . يمكن أن تكون قريبة بأية درجة نختارها إلى الإحداثيات s . v . w الخاصة بالنقط الأولى ولهذا السبب نسميها المتصل . ونظراً لأن له إحداثيات ثلاثاً فإننا نقول عنه إنه ثلاثى الأبعاد .

وبالمثل فإن دنيا الظواهر الطبيعية ويسمىها منكوفسكى باختصار « العالم » طبعى أن تكون رباعية الأبعاد بالمعنى الزمانى — المكانى لأنها تتكون من حوادث فردية يعين كل منها أربعة أعداد هى بالاسم ثلاثة إحداثيات مكانية s . v . w ، وإحداثى زمانى z . والعالم بهذا المعنى متصل لأنه توجد بالنسبة لكل جاذة حوادث مجاورة (واقعية أو على الأقل يمكن تخيلها) لا حصر لها لإحداثياتها s ، v ، w ، z . وتختلف بقدر ضئيل جداً عن إحداثيات الحادثة الأولى s ، v ، w ، z أما كوننا لم نتعود على النظر إلى العالم بهذا المعنى على أنه متصل رباعى الأبعاد فذلك

راجع إلى أن الزمان كان يلعب في الفيزياء قبل نظرية النسبية دوراً مختلفاً أو أكثر استقلالاً إذا قورن بإحداثيات المكان، وهذا هو الأصل في العادة التي جرينا عليها من اعتبار الزمان متصلاً مستقلاً . وفي الواقع يعتبر الزمن في نظر الميكانيكا الكلاسيكية مطلقاً بمعنى أنه مستقل عن موضع مجموعة الإسناد وحالاتها من الحركة . ونرى تعبيراً عن هذا في المعادلة الأخيرة من التحويل الجاليلي $z = z'$.

والنحو الرباعي الأبعاد في تصور العالم هو الوضع الطبيعي في نظرية النسبية حيث تجرد هذه النظرية الزمن من استقلاله . ويظهر هذا في المعادلة الرابعة

$$z' = \frac{z - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

وفوق ذلك فإن الفرق الزمني Δz لحادثتين بالنسبة إلى M لا يختفي عادة حتى ولو اختفى الفرق الزمني Δz لنفس هاتين الحادثتين بالنسبة إلى M . إن الفاصل المكاني الخالص لحادثتين بالنسبة إلى M ينتج فاصلاً زمنياً لنفس الحادثتين بالنسبة إلى M' . وليس هذا هو أهم اكتشافات منكوفسكي، إذ أن اكتشافه الأهم يكمن في الحقيقة في تسليمه بأن المتصل الزماني - المكاني الرباعي الأبعاد بالنسبة للنظرية النسبية يشبه شياً بعيداً في خواصه الشكلية الأساسية المتصل المكاني الثلاثي الأبعاد للهندسة الإقليدية^(١) وما علينا لإظهار هذا الشبه إلا أن نستبدل إحداثي الزمن العادي z بالكمية الخيالية $\sqrt{-1} z$ المتناسبة معه . وبهذا تأخذ القوانين الطبيعية التي تطابق نظرية النسبية الخاصة الشكل الرياضي الذي يلعب فيه إحداثي الزمن نفس دور

(١) انظر شرح هذه المسألة بتفصيل أكبر في الملحق الثاني .

إحداثيات المسكان الثلاث. . وتناظر هذه الإحداثيات الأربع من حيث الشكل
إحداثيات الهندسة الإقليدية المكانية الثلاث. ويجب أن يكون واضحاً حتى لغير
الرياضيين أنه نتيجة لهذه الإضافة الشكلية البحتة إلى معلوماتنا اكتسبت
النظرية بالطبع وضوحاً لا حد له .

إن هذه الملاحظات العابرة يمكن أن تعطى القارىء صورة ما عن
الفكرة الهامة التي ساهم بها منكوفسكى والتي بدونها لما استطاعت النظرية
النسبية العامة — وسندرس أسسها فيما يلي من الكتاب — أن توسع مجالها
وأن يتسع تطبيقها إلى هذا الحد الشامل . لاشك أن أبحاث منكوفسكى
صعبة المنال على غير الرياضيين ولكنه لما كان يكفى لفهم الأفكار الأساسية
لنظرية النسبية الخاصة والعامة إلماًما خفيفاً بهذه الأبحاث فإننى سأتركها
الآن على أن لا أعود إليها إلا عند نهاية الجزء الثانى من هذا الكتاب .

الجزء الثاني

نظرية النفسية العامة

الفصل الثامن عشر

نظريتنا النسبية الخاصة والعامة

لقد كان المبدأ الأساسى الذى دارت حوله كل الدراسات السابقة هو مبدأ النسبية الخاصة أى مبدأ النسبية الفيزيائية لكل حركة منتظمة . والآن دعنا مرة أخرى نحلل معناه بعناية ودقة .

لقد كان واضحاً فى جميع الأزمان أنه لا مندوحة — من حيث وجهة النظر التى تنقلها لنا — من اعتبار الحركة (كل حركة) حركة نسبية فقط . فإذا عدنا إلى المثل الإيضاحى الذى لجأنا إليه كثيراً — مثل الطريق الحديدى وعربة القطار — فإننا نستطيع أن نعبر عن حقيقة الحركة التى تحدث هنا بالشكلين التاليين :

- (أ) العربة فى حالة حركة بالنسبة إلى الطريق الحديدى .
- (ب) الطريق الحديدى فى حالة حركة بالنسبة إلى العربة .

ويقوم فى (أ) الطريق الحديدى وفى (ب) عربة القطار مقام مجموعة الإسناد عند تقديرنا لحالة الحركة لحادثة ما ، فإذا كان الأمر ببساطة هو الكشف عن الحركة أو وصفها فلا أهمية من حيث المبدأ إلى أى مجموعة إسناد نستند فهذا أمر كما سبق أن بينا واضح بنفسه للعيان ولكنه لا يجب الخلط بينه وبين النص الأكثر تعميماً وشمولاً والذى يسمى مبدأ النسبية الذى اتخذناه أساساً لأبحاثنا .

إن مبدأ النسبية لا ينص فحسب على أننا نستطيع أن نختار على السواء

العربة أو الطريق كجموعة إسناد لوصف أية حادثة (فهذا أيضاً واضح بنفسه للعيان) بل إنه فوق ذلك يؤكد على الأخص ما يلي : أننا إذا صغنا القوانين الطبيعية العامة كما نحصل عليها بالتجربة باستعمال :

(أ) الطريق كجموعة إسناد .

(ب) عربة القطار كجموعة إسناد .

فإن هذه القوانين العامة (أى قوانين الميكانيكا وقانون انتشار الضوء في الفراغ) يكون لها نفس الشكل في كلتا الحالتين . ويمكن التعبير عن هذا على النحو التالى أيضاً : ليس لأى من مجموعتى الإسناد م م من حيث الملاءمة للوصف الفيزيائى للعمليات الطبيعية وضع فريد (أو حرفياً ليس لأى منهما ميزة خاصة) بالمقارنة بالمجموعة الأخرى . وعلى خلاف النص الأول فإن هذا النص الأخير ليس بالضرورة صحيحاً بداهة حيث إنه ليس مشمولاً فى تصورى الحركة أو مجموعة الإسناد أو قابلاً للاشتقاق منهما . بل إن التجربة وحدها هى التى يمكن أن تقرر صحته أو بطلانه .

ومع ذلك فإننا حتى الآن لم ندع أبداً تكافؤ جميع مجموعات الإسناد م لصياغة القوانين الطبيعية . فلقد كان كل ما ذهبنا إليه أقرب إلى ما يلي :

فى أول الأمر ابتدأنا بفرض أن هناك مجموعة إسناد م حالتها من الحركة تجعل القانون الجاليلى التالى صحيحاً بالنسبة لها : إذا عزلت إحدى الجسيمات المادية عزلاً كافياً عن بقية الجسيمات وتركت وشأنها فإنها تتحرك بحركة منتظمة فى خط مستقيم . فكانت القوانين الطبيعية كأبسط ما يكون بالنسبة إلى م (مجموعة إسناد جاليلية) ولكن بالإضافة إلى م وجدنا أنه ينبغى أن نعطى كل مجموعات الإسناد نفس الأفضلية فى هذا المعنى ؛ ولذلك يجب أن تكون هذه المجموعات مكافئة للمجموعة م من حيث الملاءمة لصياغة القوانين الطبيعية طالما كانت هذه المجموعات فى حالة حركة منتظمة فى خط مستقيم بالنسبة إلى م وليست فى حركة دوران . وعلى ذلك تعتبر

كل مجموعات الإسناد هذه مجموعات إسناد جاليلية . ولذلك كانت صحة مبدأ النسبية مفروضة بالنسبة لهذه المجموعات لا غيرها (أى لتلك التى تتحرك بحركة مختلفة النوع) إن هذا هو المعنى الذى نقصده عندما نتكلم عن مبدأ النسبية الخاصة أو نظرية النسبية الخاصة .

أما الآن فعلى العكس من هذا نود أن نعطي « مبدأ النسبية العامة » النص التالى : « كل مجموعات الإسناد م . . . إلخ متكافئة من حيث ملائمتها لوصف الظواهر الطبيعية (صياغة القوانين الطبيعية العامة) مهما كانت حالتها من الحركة ، ولكن قبل أن نمضى إلى أبعد من هذا يجدر بى أن أشير إلى أن هذه الصيغة هى الأخرى مؤقتة أيضاً وسيصبح من الواجب استبدالها فيما بعد بأخرى أكثر إطلاقا وشمولا لأسباب ستوضح فى حينها .

ومنذ أن وضع أن مبدأ النسبية الخاصة له ما يبرره كان طبيعياً جداً أن يحس كل راغب فى فهم أوسع وأعم ميلا فى قرارة نفسه إلى التقدم قدماً نحو مبدأ النسبية العامة . ولكن اعتباراً بسيطاً له وزنه يوحى - على الأقل فى وضعنا الحالى - بأن الأمل فى نجاح هذه المحاولة ضعيف جداً تعترضه صعاب هائلة لا بد من التغلب عليها أولاً . والآن دعنا نتخيل أننا قد انتقلنا إلى عربة القطار التى تسير بسرعة منتظمة . إن المسافر فيها لا يشعر بحركتها طالما هى تتحرك بانتظام ولهذا السبب يستطيع دون غضاضة أن يفسر الأمر على اعتبار أن العربة ساكنة والطريق هو الذى يتحرك . وفوق ذلك فإننا نجد أن هذا التفسير تبعاً لمبدأ النسبية الخاصة صحيح أيضاً من وجهة النظر الفزيائية .

ولكن إذا تغيرت الآن حركة العربة إلى حركة غير منتظمة بسبب « فرملة » شديدة مثلاً فإن المسافر سيشعر فوراً مقابل ذلك بدفعة قوية إلى الأمام ، وسيترتب على انحباس هذه الحركة آثار أخرى تتناول الأجسام

التي في العربية مما سوف يشاهده المسافر فيها . وسوف يختلف ما يحدث في هذه الحالة عما حدث في الحالة التي تأملناها أولاً ؛ ولهذا السبب يبدو أنه من المستحيل أن تكون القوانين الميكانيكية السائدة بالنسبة إلى العربية التي تتحرك بحركة منتظمة أو الساكنة هي نفس القوانين التي تنطبق في حالة العربية التي تتحرك بحركة غير منتظمة . وعلى أية حال فإنه واضح جداً أن القوانين الجاليلية لا تنطبق على العربية التي تتحرك بحركة غير منتظمة . ومن أجل هذا نشعر أننا مضطرون في الوضع الحالي إلى أن نضفي نوعاً من الحقيقة الفيزيائية المطلقة على الحركة غير المنتظمة مما لا يتفق مع مبدأ النسبية العامة . ولكننا سنرى سريعاً أن هذا الرأي الشطط لا يمكن أن يفرض علينا طويلاً إذ سنجد لنا منه مخرجاً سهلاً .

الفصل التاسع عشر

مجال الجاذبية

إذا التقطت حجراً ثم تركته وشأنه فلماذا يسقط على الأرض . . . ؟
إن الإجابة المعتادة على هذا السؤال هي أن الأرض تجذب الحجر. والفيزياء الحديثة تجيب إجابة مختلفة للأسباب الآتية : لقد أدت الدراسة المفصلة للظواهر الكهرومغناطيسية إلى اعتبار أن التأثير عن بعد — دون تدخل وسط ما بين الطرفين — عملية مستحيلة، فإذا جذب مغناطيس قطعة من الحديد مثلاً فإننا لانكتفي بأن نعتبر أن معنى هذا هو أن المغناطيس يؤثر مباشرة على الحديد خلال الفضاء الفارغ . ولكننا نضطر إلى أن نتخيل مع فرداي أن المغناطيس يخلق حوله شيئاً فيزيائياً حقيقياً — هو المجال المغناطيسي — يؤثر بدوره على قطعة الحديد بحيث يدفعها إلى الحركة نحو المغناطيس . ولن نناقش هنا مبررات هذه الفكرة العارضة، وهي في الحقيقة فكرة لا تخلو من التعسف بوجه ما، ولكننا نكتفي بأن نقول إنه باستخدام هذه الفكرة (فكرة المجال) أمكن تفسير الظواهر الكهرومغناطيسية بطريقة أفضل بكثير مما لو استبعدناها خصوصاً فيما يتعلق بانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية . وآثار الجاذبية أيضاً تعامل بنفس الطريقة .

إن تأثير الأرض على الحجر يحدث بطريقة غير مباشرة . فالأرض تخلق حولها مجالاً جاذبياً يؤثر على الحجر مسبباً سقوطه . وتعلينا التجربة أن شدة التأثير على جسم ما تتناقص كلما ابتعد هذا الجسم عن الأرض ، وذلك تبعاً لقانون محدد . وهذا يعني من جهة نظرنا أن القانون الذي يحكم خواص

مجال الجاذبية في الفضاء لا بد أن يكون قانوناً تام التحديد حتى يتحدد بالضبط تناقص الأثر الجاذبي تبعاً لبعد الأجسام المؤثرة . وهذا القانون قريب مما يلي : فإن الجسم (أى الأرض) يولد حوله فيما يجاوره مباشرة مجالاً ويحدد شدة واتجاه هذا المجال في النقط البعيدة عن الجسم ، القانون الذى يحدد خواص المجالات نفسها في الفضاء .

وعلى العكس من المجالات المغناطيسية والكهربائية نجد أن مجالات الجاذبية تنفرد بميزة خاصة على جانب أساسى من الأهمية . ذلك أن الأجسام التى تتحرك تحت تأثير مجال الجاذبية فقط تتحرك بعجلة لا تعتمد أبداً على الحالة المادية ولا الفيزيائية للجسم ، . مثال ذلك أن قطعة الرصاص وقطعة الخشب تسقطان بنفس الكيفية تحت تأثير مجال الجاذبية في الفراغ سواء بدأ سقوطهما من حالة السكون أو ابتدأه بسرعة واحدة . ويمكن التعبير عن هذا القانون الدقيق بطريقة أخرى تبعاً لما يلي : إننا وفقاً لقانون نيوتن للحركة نجد أن : القوة = (كتلة القصور الذاتى) \times العجلة حيث تكون كتلة القصور ثابتاً يميز الجسم المعجل . فإذا أصبحت الآن الجاذبية سبب العجلة نجد أن :

$$\begin{aligned} \text{القوة} &= \text{كتلة الجاذبية} \times \text{شدة المجال الجاذبي} . \\ \text{حيث كتلة الجاذبية ثابت يميز للجسم} . \text{ ومن هاتين المعادلتين نجد أن} \\ \text{العجلة} &= \frac{\text{كتلة الجاذبية}}{\text{كتلة القصور الذاتى}} \times \text{شدة مجال الجاذبية} \end{aligned}$$

فإذا كانت العجلة مستقلة عن طبيعة الجسم وحالته من السكون أو الحركة كما هو ثابت بالتجربة، فعلى ذلك لا بد أن تكون هذه العجلة واحدة بالنسبة إلى كل الأجسام . وإذا اخترنا الوحدات المناسبة أمكن أن نجعل هذه النسبة مساوية للوحدة . وبذلك نحصل على القانون : كتلة الجاذبية لجسم ما مساوية لكتلة القصور الذاتى للجسم نفسه ،

صحيح أن هذا القانون الهام كان معروفاً من قبل في الميكانيكا ولكن أحداً لم يفسره وقت ذاك، ولا يمكن الوصول إلى تفسير مرض له ما لم نسلم بالحقيقة التالية : « إن خاصيتي القصور الذاتي والوزن لجسم ما (حرفياً الثقل) هما في الحقيقة شيء واحد يبدو مرة بهذا الشكل والأخرى بالشكل الآخر حسب الظروف . وسنرى في الفصل التالي لآى مدى يتفق هذا مع الواقع وسنرى كيف ترتبط هذه المسألة بفرض النسبية العامة .

الفصل العشرون

تساوى كتلتى القصور والجاذبية

حكمة فى صف المبدأ العام للنسبية

دعنا نتخيل حيزاً فارغاً قصياً ومنعزلاً عن النجوم وعن كل الكتل الأخرى ذات الحجم الذى يعتد به بحيث يتوافق لنا تقريباً فى هذا الحيز كل الشروط التى يتطلبها قانون جاليليو الأساسى . وعند ذلك سيكون يمكننا أن نختار مجموعة إسناد جاليلية لهذا الحيز (الجزء من العالم) ، وبالنسبة إلى هذه المجموعة ستستمر كل النقط الساكنة فى سكونها والنقط المتحركة كذلك ستستمر تتحرك فى حركة منتظمة فى خط مستقيم . دعنا نتخيل هذه المجموعة على هيئة قفص فسيح يشبه حجرة وبداخله راصد مزود بما يحتاج إليه من الأجهزة ، وطبعاً لا وجود للجاذبية بالنسبة إلى هذا الراصد بل إنه يجب عليه أن يربط نفسه بالحبال بأرضية القفص ، وإلا فإن أقل دفع على هذه الأرضية سيجعله يصعد ببطء نحو سقف القفص .

وقد ثبتنا وسط غطاء القفص من الخارج خطافاً مربوطاً به حبل . هب الآن أن كائناً (لا يعنيننا هنا نوع هذا الكائن) بدأ يشد القفص من الجبل بقوة ثابتة عند ذلك سيبدأ القفص والراصد الذى فيه فى الصعود إلى أعلى بحركة منتظمة العجلة ومع الزمن ستصل سرعتها إلى قدر لم يسمع به من قبل مادامنا نرصد كل هذا من مجموعة إسناد أخرى لا تتأثر بأى دفع .

ولكننا نريد الآن أن نرى كيف ينظر الرجل الذى فى القفص إلى هذه العملية . إن عجلة القفص ستتقل إلى الرجل عن طريق رد فعل أرضية القفص وينبغى عليه إذا أن يتحمل هذا الضغط على قدميه إذا كان لا يريد أن يرتقى بكامل قامته على أرضية القفص . إنه يقف فى القفص ، بنفس الطريقة التى يقف بها أى إنسان فى حجرة من حجرات منزل على الأرض . وإذا ترك هذا الرجل جسماً كان فى يده من قبل وشأنه عندئذ سيتوقف انتقال العجلة إلى هذا الجسم وسيسقط نحو الأرضية بحركة نسبية ذات عجلة وسيقنع الراصد نفسه بعد ذلك ، أن مقدار سقوط الجسم نحو أرضية القفص سيظل ثابتاً (مقداراً واحداً دائماً) مهما كان نوع الجسم الذى يستخدمه فى التجربة .

واستناداً إلى ما يعلمه الرجل جيد العلم عن المجال الجاذبى (وهو ما قد وضعناه فى الفصل السابق) سيصل سريعاً إلى هذه النتيجة : —

« إنه والقفص واقعان فى مجال جاذبى ثابت على مر الزمن ، وبديهي أنه سيتعجب لحظة لماذا لا يسقط القفص فى هذا المجال الجاذبى ولكنه سيكتشف فوراً الخطاف الذى يتوسط غطاء القفص والحبل المربوط به وسيصل تبعاً لذلك إلى أن القفص معلق فى حالة سكون فى المجال الجاذبى .

هل يجدر بنا أن نسخر من الرجل وأن نقول إنه يخطئ الظن وإن تصويره للموقف باطل . ؟ لست أعتقد أنه يجوز لنا ذلك إذا كنا نريد أن نكون منصفين ، بل ينبغى علينا أن نسلم بأنه سلك فى فهم الموقف سلوكاً لا يتعارض مع العقل أو القوانين الميكانيكية المعروفة . فعلى الرغم من أن القفص يتحرك بعجلة بالنسبة للحيز الجاليلى الذى فرضناه أولاً فإننا نستطيع مع ذلك اعتبار القفص ساكناً وهكذا يصبح لدينا أسباب قوية لتوسيع مدى مبدأ النسبية حتى يشمل مجموعات الاستاد التى تتحرك بعجلة

بالنسبة لبعضها البعض . ونكون قد كسبنا حجة قوية في جانب مبدأ النسبية العامة .

يجب أن نلاحظ بعناية أن هذا النحو من التفسير ليس ممكناً إلا ارتكازاً على الصفة الأساسية للمجال الجاذبي ، من حيث إنه يعطى جميع الأجسام نفس العجلة أو (وهو نفس الشيء) على قانون تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية فلم يكن هذا القانون الطبيعي قائماً لما استطاع الرجل الذى فى القفص تفسير سلوك الأجسام حوله بفرض مجال جاذبي . ولما كان له أى عذر — اعتماداً على التجربة — فى أن يفرض أن مجموعة إسناده ساكنة .

ولنفرض الآن أن الرجل ثبت حبلاً من أحد طرفيه فى الناحية الداخلية من غطاء الصندوق وربط فى الطرف الآخر من الحبل جسماً ما ، سيقرب على ذلك أن يشد الحبل متوتراً بحيث يكون معلقاً رأسياً إلى أسفل ، وإذا سألناه عن سبب توتر الحبل أجابنا بأن الجسم المعلق يؤثر بقوة تتجه إلى أسفل فى المجال الجاذبي وهذه القوة تتعادل مع توتر الحبل ومقدار هذا التوتر تحدده كتلة الجاذبية للجسم المعلق فى الحبل ، ومن الناحية الأخرى سيفسر راصد ينطلق بحرية فى الفضاء هذا الوضع على النحو التالى : —

« إن الحبل يشترك حتماً فى الحركة ذات العجلة التى يتحرك بها القفص وهو يوصل هذه الحركة إلى الجسم المعلق بطرفه ، وتوتر الحبل يكون بالقدر الذى يكفى لتعجيل الجسم ، والذى يحدد مقدار هذا التوتر هو كتلة الجسم القصورية . وفى ضوء هذا المثل نرى أن توسيعنا لمبدأ النسبية تتبعه « حتمية » قانون تساوى الكتلة القصورية مع الكتلة الجاذبية ، وبهذا الشكل نكون قد حصلنا على تفسير فيزيائى لذلك القانون ، .

ونحن نرى من مثل القفص الذى يتحرك بحركة ذات عجلة أن

نظرية عامة للنسبية لا بد أن يكون لها تأثير بالغ على قوانين الجاذبية ، ولقد أمدنا الاستقصاء المنظم للفكرة العامة للنسبية بالقوانين التي يحققها المجال الجاذبي، ولكني حريص جداً قبل التقدم إلى أبعد من هذا على أن أحذر القارئ من سوء فهم قد يوحى به هذا المثل . إن مجالاً جاذبياً قد وجد بالنسبة إلى الرجل الذي في القفص على الرغم من أنه لم يكن في الواقع هناك مثل هذا المجال بالنسبة إلى مجموعة الإسناد التي اخترناها في أول الأمر ولذلك قد نتوهم أن وجود المجال الجاذبي ليس إلا أمراً صورياً على الدوام ، وربما تخيلنا أيضاً أنه بصرف النظر عن نوع المجال الجاذبي الذي قد يكون موجوداً فإننا نستطيع دائماً اختيار مجموعة إسناد أخرى بحيث لا يوجد بالنسبة لها مجال جاذبي . وليس هذا بأي حال من الأحوال حقيقةً بالنسبة لكل المجالات الجاذبية وإنما فقط بالنسبة لشكل خاص جداً منها . فمن المستحيل مثلاً أن نختار مجموعة إسناد بحيث يتلاشى المجال الجاذبي للأرض (بكليتها) بالنسبة لهذه المجموعة .

ونستطيع الآن أن نزن بميزان دقيق لماذا كانت الحجة التي قدمناها ضد مبدأ النسبية العامة في الفصل الثامن عشر واهية غير مقنعة ، ولا شك أن الراصد في القطار يعاني حقاً اندفاعاً إلى الأمام نتيجة لاستعمال فرامل القطار وهو يستدل من هذا على عدم انتظام حركة العربة (التعويق) ولكن أحداً لا يضطره أن يسند هذا الاندفاع إلى عجلة حقيقية (التعويق للعربة) فإنه يستطيع لو شاء أن يفسر ما حدث على هذا النحو : إن مجموعة الإسناد (العربة) تظل دائماً ساكنة ومع ذلك يوجد بالنسبة لها (أثناء فترة استعمال الفرامل) مجال جاذبي موجه إلى الأمام ، يتغير بمرور الزمن ، وتحت تأثير هذا المجال يتحرك الطريق والأرض بحركة غير منتظمة على نحو يجعل سرعتيهما الأصلية في الاتجاه إلى الخلف تتناقص باستمرار .

الفصل الحادى والعشرون

ماهى أوجه النقص فى أسس الميكانيكا الكلاسيكية

ونظرية النسبية الخاصة ؟؟؟؟

ذكرنا مراراً فى سياق ماتقدم أن الميكانيكا الكلاسيكية تبدأ من هذا القانون : " إن الجسيمات المادية المعزولة عن بعضها البعض عزلاً كافياً تستمر إما على الحركة المنتظمة فى خط مستقيم وإما على السكون ، .

ولقد أكدنا مراراً أن هذا القانون الأساسى لا يمكن أن يكون صحيحاً إلا بالنسبة إلى مجموعات الإسناد (م) ذات حالات فريدة معينة من الحركة والتي فى حالة حركة انتقال منتظمة بالنسبة لبعضها البعض، أما بالنسبة إلى مجموعات الإسناد الأخرى (م) فإنه غير صحيح . وعلى ذلك فإننا نفرق فى كل من الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة بين مجموعات الإسناد (م) التى يمكن أن يقال إن قوانين الطبيعة المعروفة تنطبق عليها وبين مجموعات الإسناد (م) التى لا تنطبق عليها هذه القوانين .

ولكن هذا الوضع لا يتفق وسلامة المنطق . إتنا سرعان ماتساءل كيف يكون لبعض مجموعات الإسناد (أو حالاتها من الحركة) أفضلية على بقية المجموعات (أو حالاتها من الحركة) ؟؟؟؟ ولماذا كان هذا التفضيل ؟... ولكى أوضح جيداً معنى هذا السؤال دعنى أضرب لك مثلاً :

هب أنتى أقف أمام موقد غازى على جانبيه قدراى متشابهان لا تميز العين بينهما ، وكلاهما مليء حتى منتصفه بالماء وأنى أشاهد البخار يتصاعد

باستمرار من أحدهما دون الآخر لاشك في أن ذلك سيكون مدعاة للعجب حتى ولو لم أكن قد رأيت موقداً غازياً وقدرأ من قبل ، ولكن لو أنى لاحظت وجود شيء مضيء أزرق اللون تحت القدر الأول دون الآخر لما كان هناك داع للاستغراب حتى ولو لم أكن قد رأيت شعلة غاز من قبل لأننى سوف أستطيع أن أقول إن هذا الشيء الأزرق هو السبب في تصاعد البخار أو على الأقل يحتمل ذلك . وكان حرياً بي أن أظل حائراً لو لم أكتشف هذا الشيء الأزرق اللون تحت أحد القدرين إذا كان سيتعين على عندئذ أن أحاول اكتشاف ظرف آخر أسند إليه تصاعد البخار من أحد القدرين دون الآخر .

وبالمثل فإننا نسمى إلى اكتشاف شيء حقيقى في الميكانيكا الكلاسيكية (أو في نظرية النسبية الخاصة) نسند إليه اختلاف سلوك الأجسام بالنسبة إلى مجموعات الإسناد م عن سلوكها بالنسبة إلى مجموعات الإسناد م . لقد أدرك نيوتن هذا النقص وحاول التغلب عليه ولكنه فشل في ذلك . ولكن ماك أدرك إدراكاً أوضح من الجميع ولهذا طالب بالحاج بأن توضع الميكانيكا على أسس جديدة ولا يمكن تلافى هذا النقص إلا في فيزياء تنفق ومبدأ النسبية العامة فمعادلات نظرية النسبية تنطبق على جميع مجموعات الإسناد أياً كانت حالتها من الحركة .

الفصل الثاني والعشرون

استنتاجات قليلة من مبدأ النسبية العامة

لقد رأينا في الفصل العشرين كيف أن مبدأ النسبية العامة يضعنا في موقف نستطيع معه أن نشق صفات المجال الجاذبي بطريقة نظرية محضة . ولنفرض مثلاً أننا نعرف كيفية حدوث عملية طبيعية ما ، زماناً ومكاناً في حيز جاليلي بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية م . إننا نستطيع بطريقة نظرية محضة (أى بمجرد الحساب) أن نحدد كيف تبدو نفس هذه العملية الطبيعية بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م' التي تتحرك بعجلة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م . وحيث إنه يوجد بالنسبة لهذه المجموعة الجديدة م' مجال جاذبي فإننا نستطيع أيضاً على ذلك أن نحدد أثر هذا المجال على العملية موضوع الدراسة .

هـب أننا نعلم أن جسماً يتحرك بحركة منتظمة في خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م (تبعاً لقانون جاليليو) فإنه يتحرك بعجلة في خط منحن بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م' التي تتحرك بعجلة (القفص) وهذه العجلة أو الانحناء تقابل تأثير المجال الجاذبي في م' على الجسم المتحرك ومن المعروف أن مجال الجذب يؤثر على حركة الأجسام بهذا الشكل وعلى ذلك تكون هذه الأفكار لا جديد فيها .

ولكننا إذا طبقنا مثل هذه الأفكار على شعاع الضوء حصلنا على نتائج جديدة على قدر أساسي من الأهمية فشل هذا الشعاع ينتقل بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية م بالسرعة ح في خط مستقيم ومن السهل أن نرى

أن مسار نفس الشعاع لا يصبح خطأ مستقيماً بالنسبة إلى مجموعة الإسنادم التي تتحرك بعجلة . ومن هذا نستخلص الآتي : « تنتشر أشعة الضوء بوجه عام في خطوط منحنية في المجال الجاذبي » . ولهذا النتيجة وجهان على جانب كبير من الأهمية :

أولاً : أنه يمكن التحقق منها عملياً على الرغم من أن الدراسة النظرية التفصيلية أظهرت أن انحناء الضوء الذي تستوجبه أو تكشف عنه نظرية النسبية ضئيل جداً بالنسبة إلى مجالات الجاذبية التي في متناول أيدينا عملياً . ولكن مقداره بالنسبة للشعاع الذي يمر ملامساً للشمس يبلغ ١,٧ ثانية من القوس وهذا يمكن الاستدلال عليه بالطريقة التالية : بعض النجوم الثابتة تبدو لمن يرصدها من فوق الأرض في مجاورة الشمس ، وعلى ذلك يمكن رصدها في أثناء الكسوف الكلي للشمس وفي مثل هذه الفترات يجب أن تبدو هذه النجوم كأنها بعدت عن الشمس بالقدر السابق ذكره بالمقارنة مع موضعها الظاهري حينما تكون الشمس في مكان آخر من السماء، والتحقق من صحة أو خطأ هذا الاستنتاج مسألة على جانب كبير من الأهمية وحلها العاجل منوط بالفلكيين^(١) .

ثانياً : تثبت هذه النتيجة أنه تبعاً للنظرية العامة للنسبية لا يمكن أن تكون صحة قانون ثبوت سرعة انتشار الضوء في الفراغ (وهو أحد الفرضين الأساسيين في نظرية النسبية الخاصة والذي رجعنا إليه مراراً) بلا حدود . لأن انحناء أشعة الضوء لا يمكن أن يحدث إلا إذا تغيرت سرعة انتشاره مع موقعه . والآن قد نتوهم أنه تبعاً لذلك تكون نظرية النسبية الخاصة ومعها نظرية النسبية بأكملها قد تمرغت في التراب مع أن هذا في

١ - لقد ثبت انحراف الضوء بالقدر الذي تحدده النظرية بواسطة تصوير النجوم الذي قامت به بعثة أرسلتها الجمعية الملكية والجمعية الملكية للفلك أثناء كسوف الشمس في ٢٩/٥/١٩١٩ (انظر الملحق الثالث)

الواقع ليس صحيحاً . إنه لا يثبت إلا أن صحة النسبية الخاصة محدودة الأفق وأن نتائجها صحيحة فيما يتعلق بالظواهر التي يمكن أن نهمل أثر المجال الجاذبي فيها وحدها (أى الضوء) .

لما كان كثير من المعارضين للنظرية النسبية يحتجون بأن نظرية النسبية العامة تتعارض مع نظرية النسبية الخاصة فإنه من المفيد لتوضيح خفايق هذا الموضوع أن نضرب لذلك مثلاً مناسباً . لقد كنا قبل تقدم الديناميكا الكهربائية ننظر إلى قوانين الكهرباء والإستاتيكية على أنها قوانين الكهرباء عموماً ولكننا الآن نعلم جميعاً أن المجالات الكهربائية يمكن اشتقاقها اشتقاقاً صحيحاً من الاعتبارات الإستاتيكية في حالة واحدة فقط وهي حالة لا تتحقق أبداً تماماً وهي تلك التي تكون الكتل الكهربائية فيها ساكنة تماماً بالنسبة إلى بعضها البعض وبالنسبة إلى مجموعة الإسناد، فهل نكون على حق إذا قلنا استناداً إلى هذا إن معادلات المجالات في الديناميكا الكهربائية لما كسويل تتعارض مع الإستاتيكا الكهربائية...؟ طبعاً لا لأن الإستاتيكا الكهربائية حالة خاصة من الديناميكا الكهربائية ، فقوانين الأخيرة تؤدي إلى قوانين الأولى في حالة عدم تغير المجالات مع الزمن .

وليس هناك لاية نظرية فيزيائية مصير أسعد من أن تصبح هي نفسها لبنة في بناء نظرية أوسع منها تعيش هي فيها لحالة محدودة خاصة .

وفي مثل انتقال الضوء الذي سقناه رأينا أن نظرية النسبية العامة تمكتنا من أن نشق نظرياً أثر مجال الجاذبية على العمليات الطبيعية التي نعرف قوانينها في حالة عدم وجود مجال الجاذبية مقدماً . ولكن المشكلة التي تلفت النظر أكثر من غيرها والتي تهدينا نظرية النسبية العامة إلى مفتاح حلها هي المشكلة التي تتعلق بالبحث عن القوانين التي يخضع لها مجال الجاذبية نفسه . ودعنا الآن نتأمل ذلك لحظة .

إننا على علم تام بمناطق الزمان — مكان التي تخضع بصفة تقريبية للطريقة

الجاليلية متى اخترنا مجموعة الإسناد المناسبة . وهذه هي النواحي التي تختفى فيها المجالات الجاذبية . فإذا أسندنا الآن ناحية منها إلى مجموعة الإسناد م التي تتحرك بأى نوع من الحركة فإنه ينشأ عن ذلك بالنسبة إلى م مجال للجاذبية يتغير بتغير الزمان والمكان " وطابع هذا المجال سيتوقف طبعاً على الحركة التي نختارها للمجموعة م . وتبعاً لنظرية النسبية العامة يجب أن ينطبق القانون العام للمجالات الجاذبية على كل المجالات التي نحصل عليها بهذه الطريقة . وعلى الرغم من أنه ليس هناك وسيلة للحصول على كل المجالات الجاذبية بهذا الشكل يجب مع ذلك أن تتمسك بأمل استخلاص قانون الجذب العام من مثل مجال الجاذبية هذا . ولقد تحقق هذا الأمل على أكمل وجه ولكن كان علينا مقدماً أن نتغلب على مشكلة كبرى تتصل بأعمق طبائع الأشياء ولأننى لا أستطيع أن أخفيها عن القارئ أكثر من هذا . إتينا في أمس الحاجة إلى أن نوسع دائرة أفكارنا عن المتصل الزمكاني إلى مدى أبعد مما بلغناه حتى الآن .

الفصل الثالث والعشرون

سلوك الساعات وقضبان القياس على مجموعة إسناد تدور

لقد تجنبنا عاماً حتى الآن الكلام عن التفسير الفيزيائي لمدلولات الزمان والمكان في حالة نظرية النسبية العامة وعلى ذلك فإنني مسئول عن هذا التقصير خصوصاً والأمر الذي نحن بصدده كما تعلمنا نظرية النسبية الخاصة أشد ما يكون عمقاً وأهمية ولقد آن الأوان لكي نصصح هذا الخطأ ونستكمل هذا النقص ، وأبادر بالقول إن هذا لن يكون بالأمر الهين بالنسبة إلى القارئ إذ سيتطلب منه صبراً جميلاً وتأملًا عميقاً وقدرة فائقة على التجريد .

ولنبداً مرة أخرى من بحالات خاصة طالما لجأنا إليها من قبل . دعنا نتخيل حيزاً من الزمان — مكان ليس به مجال جاذبي بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م التي اخترنا لها حالة مناسبة من الحركة . وفي هذه الحالة تكون م مجموعة إسناد جاليلية بالنسبة إلى هذا الحيز تنطبق عليها نتائج نظرية النسبية الخاصة . والآن دعنا نتخيل نفس هذا الحيز وقد أسندناه إلى مجموعة إسناد أخرى م' تدور بانتظام بالنسبة إلى المجموعة م ، ولكي نحدد أفكارنا ونوضحها دعنا نتخيل م' على شكل قرص مستو يدور في مستواه حول مركزه . فإذا كان هناك راصد على حافة هذا القرص فإنه سوف يحس بتأثير قوة طاردة في اتجاهه نصف قطر القرص قد يفسرها راصد كان في حالة السكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م على أنها من تأثير القصور الذاتي (قوة الطرد المركزية) ولكن الراصد الذي على القرص قد يعتبر هذا القرص مجموعة إسناد ساكنة ، وهو على أساس مبدأ النسبية العامة لا تنقصه المبررات ليفعل ذلك وتكون القوة التي تؤثر

عليه وعلى كل الأجسام الأخرى الساكنة بالنسبة إلى القرص راجعة في اعتباره إلى تأثير مجال جاذبي . ومع ذلك فإن التوزيع المكاني (في المكان) لهذا المجال الجاذبي من نوع يستحيل تحقيقه على أساس نظرية نيوتن للجاذبية^(١) ولكن هذا لا يزعج الراصد الذي يؤمن ويتمسك بنظرية النسبية العامة فهو مصيب حينما يعتقد أنه من الممكن صياغة قانون عام للجاذبية لا يفسر فحسب حركات النجوم تفسيراً سليماً بل يفسر أيضاً مجال القوة التي يتعرض لها في هذه التجربة .

ويجري الراصد تجاربه على قرصه الدائري مستعملاً الساعات وقضبان القياس وهو حين يفعل ذلك يهدف إلى أن يصل إلى تعاريف مضبوطة لمعنى مدلولات الزمان والمكان بالنسبة إلى القرص الدائري م . على أساس ملاحظاته فما عساه فاعل في هذا المضمار . . . ؟

إنه أولاً سيضع ساعتين متماثلتين في التركيب واحدة عند مركز القرص والأخرى عند حافته بحيث تكونان ساكنتين بالنسبة للقرص . ونحن الآن نتساءل هل ستجري الساعتان بمعدل واحد من وجهة نظر (أى بالنسبة إلى الراصد على) مجموعة الإسناد الجاليلية التي لا تدور م . . . ؟ إننا نجد أنه بالنسبة إلى هذا المرجع ستكون الساعة التي في المركز ثابتة لاسرعة لها بينما تكون الساعة التي على الحافة متحركة تبعاً لدوران القرص . وتبعاً لنتيجة حصلنا عليها في الفصل الثاني عشر نجد أن الساعة الأخيرة ستكون أبطأ بصفة دائمة من الساعة التي عند مركز القرص الدائري كما يراها الراصد على م ، وواضح أن راصداً على القرص بجانب الساعة التي عند المركز سيرى نفس الشيء . وهكذا ستكون الساعة على قرصنا الدائري أو في كل مجال جاذبي —

١ — ان المجال يختفي عند مركز القرص ويزيد زيادة مضطردة تناسب مع البعد عن المركز كلما تقدمنا الى الخارج .

وذلك لجعل الحالة أكثر شمولاً . - أسرع أو أقل إسراعاً تبعاً للموضع الذى توضع فيه الساعة (فى حالة السكون) . ولهذا السبب يستحيل علينا أن نحصل على تعريف معقول للزمن بواسطة ساعات ضبطت وهى فى حالة السكون لمجموعة الإسناد . وتواجهنا صعوبة مماثلة عندما نحاول أن نطبق تعريفنا السابق للآنية فى مثل هذه الحالة . ولكنى لست أريد أن أخوض فى هذا الموضوع إلى أبعد من هذا .

وفوق ذلك يثير أماننا - فى هذا الطور - تعريف إحداثيات المكان أيضاً صعوبات لا يمكن التغلب عليها . فإذا طبق الراصد قضبان قياسه العيارية (قضيب قياس قصير إذا قورن بنصف قطر القرص) عماسة لحافة القرص فإن طول هذا القضيب بالنسبة إلى راصد على مجموعة الإسناد الجاليلية سيكون أقل من الواحد الصحيح لأن الأجسام المتحركة تعاني - تبعاً للفصل الثانى عشر - قصراً فى اتجاه الحركة . ومن الناحية الأخرى لا يعاني قضيب القياس قصراً فى طوله كما يبدو من م إذا طبق على القرص فى اتجاه نصف قطره . وإذا قاس الراصد أولاً محيط القرص بقضيب قياسه ثم قاس قطره فإنه إذا قسم نتيجة القياس الواحدة على الأخرى لن يحصل خارج للقسمة على العدد المعتاد $\pi = 3.14$ بل على عدد أكبر ^(١) بينما يكون ناتج هذه العملية طبعاً بالنسبة إلى قرص ساكن بالنسبة إلى م هو π بالضبط وهذا يثبت أن قضايا هندسة إقليدس لا تنطبق تماماً على القرص الدائر ولا على المجال الجاذب بصفة عامة على الأقل إذا اعتبرنا طول قضيب القياس هو الواحد الصحيح فى كل الأوضاع والاتجاهات . ومن هذا تفقد فكرة الخط المستقيم أيضاً معناها . ولسنا على ذلك فى وضع نستطيع معه أن

١ - علينا أن نستعمل خلال هذا البحث مجموعة الإسناد الجاليلية غير الدوارة لأننا لا نستطيع التسليم إلا بصحة نتائج نظرية النسبية الخاصة بالنسبة إلى م (فبالنسبة إلى م يسود المجال الجاذب) .

نعرّف بدقة الإحداثيات س . ص . سـ بالنسبة للقرص بواسطة الطريقة التي اتبعناها في أثناء دراسة نظرية النسبية الخاصة وطالما كنا لانستطيع تحديد إحداثيات أمكنة وأزمنة الحوادث فإننا بالتالي لانستطيع أن نعطي معنى دقيقاً للقوانين الطبيعية التي تذكر فيها هذه الإحداثيات .

وهكذا تبدو كل استنتاجاتنا السابقة القائمة على النسبية العامة موضع تساؤل ومرجع هذا في الحقيقة إنما أصبحنا في أمس حاجة إلى الالتجاء إلى حركة التفاف بارعة حتى نستطيع أن نطبق مبدأ النسبية العامة تطبيقاً صحيحاً وسأعد القارئ بذلك في الفصول التالية .

الفصل الرابع والعشرون

المتصل الإقليدي واللاإقليدي

تخيل أيها القارئ العزيز أن سطح مائدة رخامية قد بسط أمامنا . إننا نستطيع أن ننتقل من أية نقطة على هذه المائدة إلى أية نقطة أخرى عليها بأن نتسلل باستمرار من نقطة إلى نقطة « مجاورة » ، ونستطيع تكرار هذه العملية ما شئنا . وبعبارة أخرى نقول إننا نستطيع الانتقال دون أن نقوم بأية « قفزات » ، وإني واثق أن القارئ يقدر بوضوح تام ما أقصده هنا بلفظي « مجاورة » ، و « قفزات » ، ما لم يكن متعتاً فوق ما ينبغي . ونحن نعبر عن هذه الخاصة للسطح بأن نصفه بأنه متصل .

دعنا نتخيل الآن أن لدينا عدداً كبيراً من القضبان الصغيرة متساوية الطول وأن طولها صغير بالمقارنة بأبعاد قطعة الرخام ، وأعني حينما أقول متساوية الطول أننا إذا طبقناها الواحد على الآخر تقابلت كل أطرافها تماماً . ثم دعنا ندع أربعة من هذه القضبان على المائدة الرخامية بحيث تكون فيما بينها شكلاً رباعياً (مربعاً) قطراه متساويان طولاً . ولكي نتأكد من تساوي القطرين نستعمل قضيب اختبار قصيرا . ثم دعنا نضيف إلى هذا المربع مربعات متشابهة كل منها يشترك مع المربع الأول في قضيب . ثم نوالى القيام بهذه العملية مع كل المربعات حتى تغطي أخيراً كل القطعة الرخامية تماماً بالمربعات وهذا الترتيب يجعل كل جانب من أي مربع مشتركاً بين مربعين وكل ركن مشتركاً بين أربعة مربعات .

وسيكون مدعاة للعجب حقاً أن نستطيع الاستمرار في هذه العملية

دون . ن تكتنفنا الصعاب وما علينا إلا أن نفكر فيما يلي : إذا تقابلت في أية لحظة ثلاثة مربعات في ركن فإن جانبيين من المربع الرابع يكونا قد وضعا ويكون تبعاً لذلك وضع الجانبين الآخرين قد تحدد تماماً ، ولكنني الآن لم أعد قادراً على ضبط الشكل الرباعي بحيث يمكن أن يتساوى قطراه فإذا جاء متساويين تلقائياً فهذه منحة خاصة تهيئها خواص المائدة الرخامية وقضبان القياس لأملك حيالها إلا الدهشة شاكرآ ، ولا بد لنا من كثير من أمثال هذه المفاجئات إذا كان لا بد من نجاح التركيب .

وإذا مر كل شيء بسلام فإني يحق لي أن أقول عند ذلك إن نقط. المائدة الرخامية متصل إقليدي بالنسبة إلى قضبان القياس التي استعملت « كساقة ، (فترة - خطية) وإنني إذا أخذت ركناً من مربع واعتبرته « أصلاً ، أو نقطة إبتداء فإني أستطيع أن أصف وصفاً تحديدياً كل ركن آخر لأي مربع ما بالنسبة إلى هذا الأصل بوساطة عددين ، فما على إلا أن أذكر عدد القضبان التي يجب أن أمر فوقها ابتداء من الأصل أولاً يميناً ثم إلى أعلا بعد ذلك حتى أصل إلى الركن موضع الاعتبار . وهذان العددان يكونان عند ذلك « الإحداثيين الكارتيزيين ، لهذا الركن بالنسبة إلى « مجموعة الإسناد الكارتيزية ، التي يحددها ترتيب قضبان القياس .

ونحن إذا حورنا هذه التجربة المجردة التحوير التالي اهتدينا إلى أنه لا بد هناك حالات لا تنتهي فيها التجربة بالنجاح . سوف تصور أن القضبان تتمدد بمقدار يتناسب مع زيادة درجة حرارتها ثم نسخن وسط المائدة الرخامية دون أطرافها ففي هذه الحالة يمكن أن يظل قضبان من قضبان القياس متطابقين في كل موضع على المائدة ولكن التركيب الذي أنشأناه من المربعات لا بد وأن يضطرب في أثناء التسخين لأن القضبان التي على وسط المائدة تتمدد بينما تظل تلك التي على الأطراف بلا تمدد .

وبالنسبة إلى قضبان القياس التي اعتبرناها - وحدة الأطوال - لا تعود المائدة الرخامية متصلاً إقليدياً ولا نعود نحن أيضاً في وضع نستطيع معه تحديد الإحداثيات الكارتيزية مباشرة بوساطتها ، ولكنه لما كان هناك أجسام أخرى لا تؤثر عليها درجة حرارة المائدة على نحو ما أثرت على

قضبان القياس (وربما لا تتأثر إطلاقاً) لذلك قد يكون ممكناً أن نتمسك
بوجهة النظر التي تعتبر المائدة « متصلاً إقليدياً » ، ويمكننا الوصول إلى هذا
وبطريقة مرضية لو أننا أجرينا تعويضاً بارعاً في عملية قياس أو
مقارنة الأطوال .

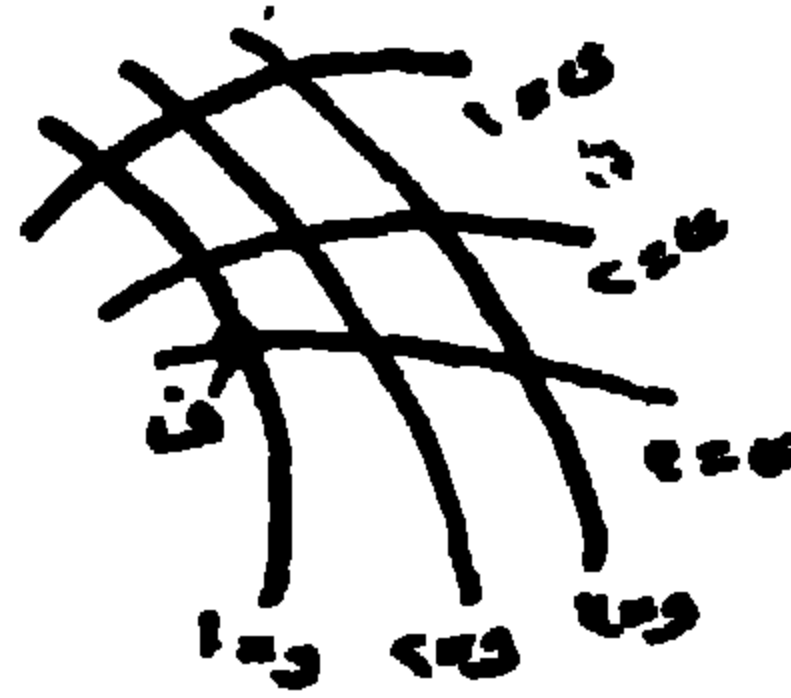
ولكن إذا كانت القضبان من جميع الأنواع (أى من جميع الأجسام)
تسلك جميعها على قطعة الرخام متفاوتة التسخين فيما يتعلق بتأثير الحرارة
عليها نفس السلوك ، وإذا لم يكن لدينا أية وسيلة لبيان تأثير الحرارة غير
السلوك الهندسي لقضبان القياس في التجارب المماثلة للتجربة التي تقدم
وصفها فإن الخطوة المثلى لدراسة سطح المائدة هي أن نطلق اسم « المسافة
واحد » ، على نقطتين على السطح ما دام يمكن أن نجعل نهايتي قضيب من
قضبان القياس تنطبقان على هاتين النقطتين لأنه ليس أمامنا وسيلة أخرى
حتى تتفادى أن تكون العملية تعسفية إلى أبعد مدى . وعلى ذلك يجب
أن نسقط طريقة الإحداثيات الكارتيزية وأن نبحث عن طريقة أخرى
لا تفترض صحة هندسة إقليدس بالنسبة إلى الأجسام الجاسئة " ولاحظ
القارئ أن هذا الموقف يناظر الموقف الذي أدى إليه المبدأ العام للنسبية
في الفصل الثالث والعشرين .

١ - الوضع الرياضي لهذه المشكلة هو : إذا كان لدينا مسطح ما
(يعضاوى مثلاً) في فضاء إقليدي ثلاثي الأبعاد فإنه يوجد لهذا السطح
هندسة ثنائية الأبعاد كما يوجد بالنسبة للمستوى . ولقد قام جاوس
بمعالجة هذه الهندسة الثنائية الأبعاد من المبادئ الأولى دون أن يلجأ إلى
حقيقة كون السطح يتعلق بمتصل إقليدي ثلاثي الأبعاد فإذا تخيلنا أننا
نفيم انشاءات بوساطة قضبان جاسئة في السطح (مشابهة لتلك التي
اقمناها في السطح الرخامي) فإننا سنجد أن القوانين التي تنطبق على هذه
الانشاءات تختلف عن القوانين التي تؤدي إليها هندسة إقليدس المستوية
فليس السطح متصلاً إقليدياً بالنسبة إلى قضبان القياس ولا نستطيع
تعيين الإحداثيات الكارتيزية في السطح . ولقد أوضح جاوس المبادئ
التي يمكن تبعاً لها معالجة العلاقات الهندسية على السطح وهكذا أوضح
معالم الطريق إلى طريقة ريمان في معالجة المتصلات اللا إقليدية متعددة
الأبعاد . وهكذا كان الرياضيون هم الذين حلوا منذ أمد بعيد المشكلات
الشكلية التي يقودنا إليها مبدأ النسبية العامة .

الفصل الخامس والعشرون

إحداثيات جاوس

يرى جاوس أن الوسيلة التي تجمع بين التحليل والهندسة والتي تصلح لعلاج المشكلة يمكن بلوغها على النحو الآتي : لذلك تتخيل مجموعة من المنحنيات الاختيارية (انظر الشكل ٤) رسمت على سطح المائدة ونسميها المنحنيات (ي) ونشير إلى كل منها بعدد وقد رسمنا في الشكل التوضيحي المنحنيات $ي = ١$ ، $ي = ٢$ ، $ي = ٣$ ، ويجب أن تتخيل بين المنحنيين



(شكل ٤)

$ي = ١$ ، $ي = ٢$ عدداً لانهائياً من المنحنيات مرسوماً ، وجميعها تناظر الأعداد الحقيقة الواقعة بين ١ و ٢ وبذلك نحصل على نظام من المنحنيات $ي$. وهذا النظام المتناهي الكثافة يغطي سطح المائدة كله وهذه المنحنيات $ي$ يجب أن لا تقاطع مع بعضها البعض ، ويجب ألا يمر بالنقطة الواحدة من السطح إلا منحن واحد وواحد فقط . وهكذا يكون لكل نقطة على السطح قيمة $ي$ محددة تماماً . وبالمثل يمكن أن تتخيل نظاماً من المنحنيات (و) مرسوماً على السطح وهو يخضع لجميع شروط المنحنيات $ي$ فهو مزود بأعداد بطريقة مماثلة ويمكن أيضاً أن يكون شكله اختيارياً . ويتبع ذلك أن يكون لكل نقطة على سطح المائدة قيمة (ي) وقيمة (و) ويسمى هذان العددان

إحداثي سطح المائدة (الإحداثيان الجاوسيان) فالنقطة ف مثلا في الشكل التوضيحي لها الإحداثيان $y = 3$ و $x = 1$ ، وتقابل النقطتان المتجاورتان ف 6 على السطح الإحداثيات :

ف : y و 6

ف : $y + y + 6 + 6 + 6$

حيث يعني y و 6 عددان صغيرين جداً . و بنفس الطريقة نستطيع أن نشير إلى المسافة (الفترة - الخطية) بين ف 6 ف 6 مقيسة بقضيب القياس بوساطة العدد الصغير جداً u وقد وجد جاوس أن :

$$u^2 = l_{11} y^2 + 2 l_{12} y + l_{22} u^2$$

حيث l_{11} ، l_{12} ، l_{22} مقادير تعتمد بطريقة محددة جداً على y ، و المقادير l_{11} ، l_{12} ، l_{22} تحدد سلوك القضبان بالنسبة للمنحنيات (y) والمنحنيات (u) وبالتالي بالنسبة لسطح المائدة أيضاً . وفي الحالة التي تكوّن فيها نقط السطح محل الاعتبار متصلاً إقليدياً بالنسبة إلى قضبان القياس يمكن رسم المنحنيات y ، المنحنيات u وربط أعداد بالنسبة لها وفق المعادلة :

$$u^2 = y^2 + u^2$$

وبهذه الشروط تكون المنحنيات y و u خطوطاً مستقيمة بالمعنى الإقليدي وتكون متعامدة مع بعضها البعض ، وتكون إحداثيات جاوس هنا إحداثيات كارتيزية بكل بساطة . ومن الواضح أن إحداثيات جاوس ليست أكثر من ارتباط مجموعتين من الأعداد مع نقط السطح موضع الاعتبار بحيث تكون القيم العددية التي تختلف فيما بينها اختلافاً ضئيلاً مرتبطة بالنقط المتجاورة في المكان ، .

وحتى الآن كنا نطبق هذه الأفكار على متصل ثنائي الأبعاد ولكن طريقة جاوس هذه يمكن أن تطبق بسهولة على متصل ثلاثي الأبعاد وأربعها

أو حتى أكثر من ذلك فإذا كان ممكناً الحصول على متصل رباعي الأبعاد فإننا يمكن أن نمثله بالطريقة الآتية : نربط بطريقة اختيارية كل نقطة من نقط هذا المتصل بأربعة أعداد s_1, s_2, s_3, s_4 وتعرف بالإحداثيات ويقابل النقط المتجاورة قيم متقاربة للإحداثيات فإذا كانت المسافة s و s' مرتبطة بالنقطتين المتجاورتين F و F' وهي قابلة للقياس والتحديد فرباعياً فإن المعادلة التالية تكون صحيحة :

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 + 2s_1s_2 + 2s_1s_3 + 2s_1s_4 + 2s_2s_3 + 2s_2s_4 + 2s_3s_4$$

حيث تكون المقادير s_1, s_2, s_3, s_4 إلخ قيمة تتغير مع الموقع في المتصل . ولا يمكن أن نربط الإحداثيات s_1, s_2, s_3, s_4 مع نقط المتصل بحيث يصبح لدينا ببساطة :

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2$$

إلا إذا كان المتصل إقليدياً . وفي هذه الحالة تظل العلاقات في المتصل الرباعي قائمة على النحو الذي تقوم عليه في قياساتنا الثلاثية الأبعاد .

ومع ذلك فليست معالجة جاوس للمقدار s^2 التي أوضحناها عالية ممكنة دائماً إذ يقتصر ذلك على الحالات التي نضع فيها موضع الاعتبار مناطق من المتصل صغيرة بدرجة تكفي لاعتبارها متصلات إقليدية . وهذا مثل ينطبق بوضوح على حالة المائدة الرخامية ذات التغير المحلي لدرجة الحرارة (متفاوتة التسخين) فإن درجة الحرارة ثابتة عملياً بالنسبة إلى جزء صغير من المائدة ، وهكذا يكون السلوك الهندسي لقضبان القياس تقريباً كما يجب أن يكون وفق قواعد هندسة إقليدس ، ومن هنا نرى لماذا كان الخلل في إنشاء المربعات في الفصل السابق لا يتضح جلياً إلا إذا امتد هذا الإنشاء فوق جزء كبير من سطح المائدة .

يمكننا أن نلخص ما تقدم فيما يلي : لقد اخترع جاوس طريقة نستطيع

بها معالجة المتصلات عموماً علاجاً رياضياً وهذه الطريقة تحدد علاقات الحجم أو الكم (المسافات ، بين النقط المتجاورة) بأن تختص كل نقطة في المتصل بعدد من الأعداد يساوى ماله من الأبعاد ويتم ذلك بشكل يجعل للخصصة معنى واحداً ويجعل الأعداد (الإحداثيات الجاوسية) التي تخصص لنقط متجاورة تختلف فيما بينها بمقادير متناهية في الصغر . ومجموعة الإحداثيات الجاوسية تعميم منطقي لمجموعة الإحداثيات الكارتيزية ويمكن تطبيقها أيضاً على المتصلات اللا إقليدية وذلك فقط عندما تسلك — من حيث الحجم أو المسافة المحددان — الأجزاء الصغيرة من المتصل محل الاعتبار سلوكاً يشبه تقريباً النظام الإقليدي . وذلك كلما صغر الجزء من المتصل الذي نطبقها عليه .

الفصل السادس والعشرون

المتصل الزمان والمكان في نظرية النسبية الخاصة

على اعتبار أنه متصل إقليدى

إننا الآن فى وضع نستطيع معه أن نصوغ فكرة منكوفسكى التى أشرنا إليها مجرد إشارة عابرة فى الفصل السابع عشر بدقة أتم . لقد رأينا أنه تبعاً لنظرية النسبية الخاصة تفضّل بعض مجموعات الإسناد من حيث الملاءمة لوصف المتصل الزمان والمكان الرباعى الأبعاد غيرها . ولقد سمينا هذه المجموعات المفضلة بمجموعات إسناد جاليلية . ولقد أوضحنا فى الجزء الأول من هذا الكتاب تفصيلاً التعريف الفزيائى للإحداثيات الأربعة x, y, z, t التى تحدد الحادثة أو بعبارة أخرى النقطة فى المتصل رباعى الأبعاد . وفى حالة الانتقال من مجموعة إسناد جاليلية إلى أخرى تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة للأولى تنطبق معادلات تحويل لورنتز . وهذه المعادلات هى الأساس الذى يرتكز عليه اشتقاق الاستنتاجات من نظرية النسبية الخاصة . وهى فى حد ذاتها (أى المعادلات) ليست إلا التعبير عن صحة قانون انتشار الضوء بالنسبة إلى مجموعات الإسناد الجاليلية .

ولقد وجد منكوفسكى أن تحويلات لورنتز تحقق الشروط البسيطة الآتية : دعنا نتخيل حادثتين متجاورتين يحدد مكانهما النسبى فى المتصل رباعى الأبعاد بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية M الفروق المكانية الإحداثية x, y, z والفروق الزمانى t ، وسنفرض أن الفروق المقابلة لهاتين الحادثتين بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية أخرى M'

و ص ٦ و س ٦ و ز ٦ فإنه في هذه الحالة تحقق هذه المقادير دائماً الشرط
التالي (١) :

$و س ٦ + و ص ٦ + و ز ٦ = و س ٦ + و ص ٦ + و ز ٦ - و س ٦ - و ص ٦ - و ز ٦$
وصحة تحويل لورنتز مرتبة على هذا الشرط ونستطيع أن نعبر عن ذلك
كما يلي : - المقدار

$$و ف ٦ = و س ٦ + و ص ٦ + و ز ٦ - و س ٦ - و ص ٦ - و ز ٦$$

وهو يتعلق بنقطتين متجاورتين من نقط المتصل الزماني المكاني
رباعي الأبعاد له نفس القيمة بالنسبة إلى كل مجموعات الإسناد المختارة
(الجاليلية) وإذا استبدلنا بالمقادير $و س ٦$ $و ص ٦$ $و ز ٦$ $و ف ٦$ $و س ٦$ $و ص ٦$ $و ز ٦$

المقادير $و س ٦$ $و ص ٦$ $و ز ٦$ نحصل أيضاً على :

$$و ف ٦ = و س ٦ + و ص ٦ + و ز ٦ - و س ٦ - و ص ٦ - و ز ٦$$

مستقلة عن اختيار مجموعة الإسناد (أى أياً كانت مجموعة الإسناد)
ونسى المقدار $و ف ٦$ المسافة، التي تفصل بين الحادثتين أو النقطتين
رباعيتي الأبعاد .

وهكذا نجد أننا إذا اخترنا كمتغير للزمن المتغير الخيالي $و ف ٦$ $و س ٦$ $و ص ٦$ $و ز ٦$
بدلاً من الكمية الحقيقية $و ف ٦$ فإننا نستطيع أن نعتبر المتصل الزماني - المكاني
المتفق مع نظرية النسبية الخاصة متصلاً إقليدياً رباعى الأبعاد وهذه هي
النتيجة التي تؤدي إليها اعتبارات الفصل السابق .

١ - انظر الملحق ١ ، ٢ فالعلاقات التي اشتقت هناك للاحداثيات
نفسها صحيحة أيضاً لفروق الاحداثيات وكذلك أيضاً لتفاضلات
الاحداثيات (الفروق المتناهية الصغر) .

الفصل السابع والعشرون

المتصل الزماني المكاني الخاص بالنظرية النسبية العامة

ليس متصلاً إقليدياً

استطعنا في الجزء الأول من هذا الكتاب أن نستعمل إحداثيات زمكانية كان من الممكن تفسيرها تفسيراً فزيائياً بسيطاً مباشراً وكان من الممكن اعتبارها كما وضع في الفصل السادس والعشرين إحداثيات كارتيزية رباعية الأبعاد . وكان هذا ممكناً استناداً إلى قانون ثبوت سرعة الضوء . ولكننا قد رأينا في الفصل الجادى والعشرين أن نظرية النسبية العامة لا يمكن أن تحتفظ بهذا القانون بل على العكس ظهر أنه تبعاً لهذه النظرية الأخيرة لا بد أن تعتمد سرعة الضوء دائماً على الإحداثيات متى وجد مجال جاذبي . وفي سياق توضيح هذا الأمر في الفصل الثالث والعشرين وجدنا أن وجود المجال الجاذبي يبطل تحديد الإحداثيات والزمن ذلك التحديد الذي استخدمناه في النظرية النسبية الخاصة .

ونتيجة لهذه الاعتبارات انتهينا إلى الاقتناع بأن المتصل الزماني المكاني في النظرية النسبية العامة لا يمكن اعتباره متصلاً إقليدياً بل إننا نجد هنا الحالة العامة التي تمثلها المائدة الرخامية في حالة الاختلاف الموضعي في درجة الحرارة (متفاوتة النسخين) والتي اعتبرناها متصلاً ثنائى الأبعاد . وكما كان مستحيلاً هناك بناء مجموعة إحداثيات كارتيزية من قضبان القياس المتساوية فإنه يستحيل هنا أيضاً أن نتخذ مجموعة من الأجسام الجاسئة والساعات (مجموعة إسناد) بحيث تكون قضبان القياس والساعات التي

رتبت ترتيباً جاسماً (متناسكاً) بالنسبة إلى بعضها البعض قدرة على تحديد الموقع والزمن مباشرة . ولقد كان هذا هو لب المشكلة التي واجهتنا في الفصل الثالث والعشرين .

ولكن الاعتبارات التي استعرضناها في الفصلين الخامس والعشرين والسادس والعشرين ترشدنا إلى طريقه التغلب على هذه الصعوبة . ذلك بأن نسند المتصل الزماني المكاني لرباعي الأبعاد إلى إحداثيات جاوس بطريقة حكيمة ونخص كل نقطة من المتصل (حادثة) بأربعة أعداد s_1, s_2, s_3, s_4 وهي إحداثيات ليس لها أقل معنى فزيائى مباشر بل لمجرد ترقيم نقط المتصل بطريقة محددة ولكنها اختيارية . ولا يستوجب هذا الترتيب حتى أن نعتبر s_1, s_2, s_3, s_4 إحداثيات د مكان ، و s_5 إحداثى زمن .

وقد يظن القارئ أن تصوير العالم على هذا النحو تصوير مشوه فما معنى أن نخص حادثة ما بالإحداثيات الخاصة s_1, s_2, s_3, s_4 إذا كانت هذه الإحداثيات في حد ذاتها ليس لها معنى ؟ ولكننا لو تمعنا الموضوع بعناية أكثر لرأينا أنه لا أساس لهذا القلق . فلو تأملنا مثلاً نقطة مادية تتحرك بأية حركة لوجدنا أنه لو كان وجود هذه النقطة لحظياً لا يستمر مع الزمن لا يمكن وصفها وتحديد لها في الزمان - مكان بمجموعة واحدة من القيم s_1, s_2, s_3, s_4 . وهكذا يجب أن يتمثل استمرار وجودها بعدد لا نهائى من مثل هذه المجموعات من القيم التي تكون قيمها الإحداثية أيضاً متقاربة جداً بحيث توحى بالاستمرار . وعلى ذلك يصبح لدينا مقابل كل نقطة مادية خط كوني (أحادى الأبعاد) في المتصل لرباعي الأبعاد . وهكذا تناظر هذه الخطوط في المتصل نقاطاً كثيرة تتحرك والحالة الوحيدة التي تصبح فيها هذه النقط ذات وجود فزيائى هي في الحقيقة حالة تقابلها . وحالة التقابل هذه نعبّر عنها رياضياً بأن يكون الخطان اللذان يمثلان حركتي النقطتين موضوع البحث لهما مجموعة خاصة من القيم الإحداثية

س_١ س_٢ س_٣ س_٤ مشتركة بينهما . وإذا تأمل القارىء هذا الأمر ملياً فلا شك أنه سيسلم بأن مثل هذه التقابلات في الحقيقة هي الشاهد الفعلي الوحيد على الجوهر الزمكاني الذي تتضمنه البيانات الفيزيائية .

إننا إذ نصف حركة نقطة مادية بالنسبة إلى مجموعة إسناد لا نذكر شيئاً أكثر من تقابلات هذه النقطة مع نقط خاصة من مجموعة الإسناد . ونستطيع أيضاً أن نحدد القيم الزمانية المناظرة بوساطة رصد تقابلات الجسم مع الساعات مرتبطة مع رصد تقابل عقارب الساعات مع نقط معينة على ميناء تلك الساعات . وهو نفس ما يحدث في حالة قياسات المكان بوساطة قضبان القياس كما يتضح ذلك جيداً لو تأملناه قليلاً ببعض الإمعان .

إن ما يلي صحيح بوجه عام : إن كل وصف فزيائي يتحلل ذاتياً إلى عدد من النصوص يشير كل منها إلى تطابق زمكاني لحادثتين ١ و ٢ وإذا عبرنا عن كل نص من هذه النصوص بدلالة إحداثيات جاوس نقول إن الإحداثيات الأربعة س_١ س_٢ س_٣ س_٤ لكل الحادتين واحدة . وهكذا نحل في الحقيقة بصورة كاملة وصف المتصل الزمكاني بوساطة إحداثيات جاوس محل وصف المتصل بوساطة مجموعات الإسناد ويجنبنا الأول منهما أوجه النقص التي تنطوي عليها الطريقة الثانية فليس مقيداً بضرورة فرض الطابع الإقليدي على المتصل الذي نريد تمثيله .

الفصل الثامن والعشرون

التعبير الدقيق عن مبدأ النسبية العام

إننا الآن في وضع يسمح لنا بأن نستبدل بالتعبير المؤقت عن مبدأ النسبية العام الذي قدمناه في الفصل الثامن عشر تعبيراً آخر دقيقاً جداً . لقد كان تعبيرنا عن ذلك المبدأ على هذه الصورة : كل مجموعات الإسناد م، م... إلخ متكافئة من حيث وصف الظواهر الطبيعية (أو صياغة القوانين الطبيعية العامة) مهما كانت حالتها من الحركة . ولا يمكن الآن الاحتفاظ بهذه الصورة لأن استعمال مجموعات الإسناد الجاسئة على الطريقة التي اتبعت في النظرية النسبية الخاصة لم يعد مستطاعاً بوجه عام لوصف الزمان — مكان فلا بد من استبدالها بمجموعات إحداثيات جاوس . والنص التالي يعبر عن الفكرة الأساسية في مبدأ النسبية العامة . وكل مجموعات إحداثيات جاوس متكافئة من حيث ملامتها لصياغة القوانين الطبيعية العامة .

ونستطيع أيضاً أن نضع مبدأ النسبية العامة هذا على نحو جديد آخر يجعله أسهل فهماً حتى عما لو اعتبرناه امتداداً طبيعياً لمبدأ النسبية الخاص . فتبعاً لنظرية النسبية الخاصة كانت المعادلات التي تعبر عن القوانين الطبيعية العامة فيما قبل النسبية هي نفس المعادلات النسبية بشرط أن نحل المتغيرات الزمكانية س، ص، س، ز لمجموعة الإسناد الجديدة م محل المتغيرات الزمكانية س، ص، س، ز لمجموعة الإسناد الجاليلية م وذلك باستخدام تحويل لورنتز . أما تبعاً لمبدأ النسبية العام من الناحية الأخرى فيجب أن تحتفظ المعادلات بنفس الشكل عندما نطبق البديلات التحكيمية للمتغيرات

الجاوسية s_1, s_2, s_3, s_4 . وذلك لأن كل تحويل (وليس تحويل لورنتز فقط) يقابل الانتقال من مجموعة مامن إحداثيات جاوس إلى أخرى.

وإذا أردنا أن نتمسك بنظرتنا القديمة ثلاثية الأبعاد إلى الأشياء فإننا نستطيع أن نصف التجديد أو التقدم الذي تناول الفكرة الأساسية لنظرية النسبية العامة على النحو التالي : إن نظرية النسبية الخاصة تتعلق بالحيز الجاليلي أى المناطق التى لا يوجد بها مجال جاذبى وفى هذه الحالة يستخدم كمجموعة إسناد مجموعة جاليلية أى جسم جامد . حالته من الحركة مختارة بحيث ينطبق عليها قانون جاليليو لحركة نقطة مادية منعزلة ، أى حركة منتظمة فى خط مستقيم . وبعض الاعتبارات توحى بأننا يحسن بنا أن نرجع أو نسند نفس الحيزات الجاليلية إلى مجموعات إسناد لا جاليلية أيضاً وعندئذ نجد مجالاً جاذبياً من نوع خاص بالنسبة إلى هذه المجموعات (انظر الفصل العشرين والثالث والعشرين) .

ولكن شيئاً مثل الأجسام الجاسئة ذات الخواص الإقليدية لا وجود له فى المجالات الجاذبية وهكذا لا محل فى نظرية النسبية العامة لمجموعات الإسناد الجاسئة الخيالية هذه . وكذلك حركة الساعات . إنها تتأثر أيضاً بمجال الجاذبية بحيث يصبح تحديد الزمن فزيائياً ويتم مباشرة بواسطة الساعات أقل قبولاً عما كان فى نظرية النسبية الخاصة .

ولهذا السبب نستعمل مجموعات إسناد غير جاسئة لا تتحرك ككل بأى شكل كان فحسب بل تعاني تغيرات فى الشكل على هواها أثناء حركتها وتستعمل لتحديد الزمن ساعات لا قيد على قانون حركتها فهو كيفما اتفق مهما كان شاذاً ، ويجب علينا أن نتصور كلا من هذه الساعات مثبتة فى نقطة من مجموعة الإسناد غير الجاسئة بشرط واحد فقط هو أن تكون القراءات التى تحددها الساعات المتجاورة فى لحظة واحدة مختلفة عن بعضها البعض بقدر ضئيل جداً ، وهذه المجموعة غير الجاسئة والتي يمكن أن نسميها بحق مجموعة إسناد

رخوية هي في الأصل ما يكفىء مجموعة إحدائيات جاوس رباعية الأبعاد التى تختارها بطريقة تحكيمية . إن ما يجعل الرخويات أقرب تصورا من مجموعة إحدائيات جاوس ، هو (ولو أنه لا يوجد مبرر حقيقى لذلك) الأثر الشكلى العالق بأذهانتنا عن الكيان المنفصل لإحدائيات المسكان فى مواجهة إحدائى الزمن . إن كل نقطة على المجموعة الرخوية تعالج على اعتبارها نقطة مكان وكل نقطة مادية ساكنة بالنسبة لها تعتبر ساكنة مادما نعتبر القوقعة الرخوة مجموعة إسناد . ويقضى مبدأ النسبية العامة بأن جميع هذه الرخويات يمكن استخدامها كمجموعة إسناد لها نفس الحقوق ونفس الأهلية فى صياغة القوانين العامة للطبيعة . أما القوانين نفسها فيجب أن تكون مستقلة تماما عن اختيار المجموعة الرخوية .

إن القوة الهائلة التى ينطوى عليها مبدأ النسبية العام تكمن فى التحديد الشامل الذى يفرض على قوانين الطبيعة تبعاً لما رأيناه آنفاً .

الفصل التاسع والعشرون

حل مشكلة الجاذبية على أساس المبدأ العام للنسبية

أن القارئ الذى استوعب فى أناة وروية كل ما قدمنا من الاعتبارات لن يجد صعوبة ما فى فهم الوسائل المؤدية إلى حل مشكلة الجاذبية .

دعنا نبدأ أولاً بتأمل حيز جاليلى أى حيز خالى من المجال الجاذبى بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية م . ونحن نعلم من نظرية النسبية الخاصة على أى نحو تسلك قضبان القياس والساعات بالنسبة إلى هذه المجموعة م وهو يشبه سلوك النقطة المادية المعزولة وهذه تتحرك بحركة منتظمة فى خط مستقيم .

ثم دعنا الآن نسند هذا الحيز إلى مجموعة إحداثيات جاوسية أيا كانت أو إلى مجموعة رخوة على اعتبار أنها مجموعة إسناد ولنسمها م' . عندئذ يكون هناك بالنسبة إلى م' مجال جاذبى ح (من نوع خاص) ونستطيع أن نقف على كيفية سلوك قضبان القياس والساعات وكذلك النقط المادية التى تتحرك بلا قيد بالنسبة إلى مجموعة الإسناد وذلك بواسطة التحويل الرياضى ببساطة . ونحن نفسر هذا السلوك بأنه سلوك الساعات وقضبان القياس والنقط المادية تحت تأثير المجال الجاذبى ح . وعند ذلك دعنا نفترض أن أثر المجال الجاذبى على قضبان القياس والساعات والنقط المادية التى تتحرك بحرية يستمر وفقاً لنفس القوانين حتى فى حالة ما إذا كان المجال الجاذبى السائد لا يمكن اشتقاقه من الحالة الجاليلية الخاصة بمجرد تحويل الإحداثيات .

والخطوة التالية لذلك هي أن نبحث السلوك الزمني للمجالح الذي اشتق من الحالة الجاليلية الخاصة بمجرد تحويل الإحداثيات . ويصاغ هذا السلوك في قانون يكون دائماً صحيحاً مهما كان اختيار مجموعة الإحداثيات الزخوة التي يتم الوصف بالنسبة إليها . وليس هذا القانون مع ذلك هو القانون العام للمجال الجاذبي مادام المجال الجاذبي الذي وصفناه هنا موضع الاعتبار من نوع خاص .

ومتى أمكن أن نهتدى إلى القانون العام للمجال الجاذبي يظل واجباً علينا أن نحصل على تعميم للقانون الذي حصلنا عليه آتفاً، ولن يكون هذا بالامر العسير لو أننا وضعنا نصب أعيننا المطالب التالية : —

(أ) يجب أن يتفق التعميم المطلوب مع الفرض العام للنسبية .

(ب) إذا كان في الحيز موضوع البحث أية مادة فإن كتلتها القصورية فقط وبالتالي طاقاتها حسب الفصل الخامس عشر هي التي توضع موضع الاعتبار لأنها هي التي يتسبب عنها المجال وهي التي نبعثه .

(ج) يجب أن يحقق المجال الجاذبي والمادة معاً قانون بقاء الطاقة (والدفع) .

وأخيراً فإن المبدأ العام للنسبية يسمح لنا بأن نحدد أثر المجال الجاذبي على مجرى كل تلك العمليات التي تحدث وفقاً لقوانين معلومة في حالة غياب المجال الجاذبي ، أي تلك التي سبق أن دخلت في إطار نظرية النسبية الخاصة ، وليبيان هذا الأثر تتبع من حيث المبدأ نفس الطريقة التي سبق أن شرحناها بالنسبة إلى قضبان القياس والساعات والنقط المادية التي تتحرك بحرية .

ونظرية الجاذبية التي اشتقت بهذه الطريقة من الفرض العام للنسبية لا تبز غيرها بالنسبة لجمالها ولا من حيث تغلبها على النقص الذي تنطوي

عليه الميكانيكا الكلاسيكية والذي أوضحناه في الفصل الحادى والعشرين ،
ولا من حيث تفسيرها للقانون التجريبي اتساوى كتلة القصور وكتلة
الجاذبية فحسب بل لأنها فوق كل هذا قد نجحت في تفسير ظاهرة فلكية
عجزت عن تفسيرها الميكانيكا الكلاسيكية .

إننا إذا قصرنا تطبيق النظرية على الحالة التى يكون فيها المجال الجاذبى
ضعيفاً والتى تتحرك فيها الكتل بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات بسرعات
صغيرة مقارنة لسرعة الضوء فإننا نحصل كتقريب أول على نظرية نيوتن .
وهكذا نحصل هنا على هذه النظرية دون حاجة إلى أية فروض خاصة في
حين أن نيوتن اضطر إلى إدخال الفرض الذى ينص على أن التجاذب بين
نقطتين متجاورتين يتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما . وإذا راعينا
منتهى الدقة في التقديرات الحسابية ظهرت الانحرافات والفروق مع نظرية
نيوتن ولو أن هذه الفروق جميعها مما لا يمكن اختباره عملياً نظراً لضآلتها
المتناهية .

ومع ذلك يجب أن نتوقف قليلاً لتأمل بامعان أحد هذه الفروق ، فنبعاً
لنظرية نيوتن يتحرك أى كوكب حول الشمس في قطع ناقص يحتفظ دائماً
بموصعه بالنسبة للنجوم الثابتة لو أننا أهملنا حركة النجوم الثابتة نفسها وتأثير
الكواكب الأخرى محل الاعتبار . وهكذا إذا صححنا حركة الكواكب
الظاهرة وفقاً لهذين المؤثرين وإذا كانت نظرية نيوتن صحيحة تماماً وجب
أن نحصل على قطع ناقص كمدار للكواكب ، يكون ثابتاً بالنسبة إلى النجوم
الثابتة . وهذا الاستنتاج الذى يمكن التحقق منه بدقة عظيمة كانت غاية
ما يمكن بلوغه من الدقة في حينها ، أمكن التحقق منه بالنسبة إلى كل الكواكب
إلا واحداً هو عطارد أقرب الكواكب إلى الشمس فقد أصبح معروفاً منذ
أيام لوفرييه أن للقطع الناقص الذى يمثل مدار عطارد بعد تصحيحه وفقاً
للمؤثرين آتني الذكر ليس ثابتاً بالنسبة إلى النجوم الثابتة بل إنه يدور

دوراناً بطيئاً جداً في مستوى المدار على مثال الحركة المدارية . وكانت القيمة التي حصلنا عليها لهذه الحركة الدورانية للقطع الناقص المدارى تبلغ ٤٣ ثانية من القوس في القرن وقد تأكد صدق هذا التقدير إلى حدود ثوان قليلة من القوس، ويمكن إيجاد تفسير مقبول لهذا الاثر تبعاً للبيكانيك الكلاسيكية بشرط التسليم بفروض ضعيفة الاحتمال وضعت خصيصاً لهذا الغرض .

ولكنه وجد على أساس نظرية النسبية العامة أن كل القطوع الناقصة التي تدور فيها الكواكب حول الشمس يجب أن تدور بنفس الطريقة آتفة الذكر وأن مقدار هذا الدوران بالنسبة إلى كل الكواكب ماعدا عطارد أصغر من أن يمكن اكتشافه بالوسائل الراهنة ولكنه في حالة عطارد لا بد أن يبلغ ٤٣ ثانية من القوس في القرن وهي نتيجة تتفق أتم اتفاق مع التجربة.

وبخلاف هذا أمكن الوصول إلى استنتاجين آخرين فقط يمكن وضعهما موضع الاختبار ليشهدا لها وهما انحناء أشعة الضوء بواسطة مجال جاذبية الشمس^(١) وانتقال موضع خطوط الطيف في الضوء الذي يصل إلينا من النجوم الكبيرة بالمقارنة بموضع نفس هذه الخطوط للأضواء التي يمكن إنتاجها بطريقة مشابهة على الأرض (أى بواسطة نفس الذرة)^(٢) وقد تأيد هذان الاستنتاجان اللذان استنتجا نظرياً من النظرية النسبية العامة بالبرهان العملي .

١ - كان ادنجتون وآخرون أول من رصدوا ذلك في سنة ١٩١٩
(انظر الملحق ٣) .
٢ - حقق ذلك آدمز سنة ١٩٢٤ (انظر الملحق ٣) .

الجزء الثالث

تأملات في الـكون ككل

الفصل الثلاثون

الصعوبات الكونية في نظرية نيوتن

تنطوي ميكانيكا الأجرام السماوية على مشكلة أساسية أخرى بخلاف المشكلة التي سبق مناقشتها في الفصل الحادى والعشرين . وقد كان الفلكى سيلجر - فيما أعلم - هو أول من تعرض لدراستها بتوسع وتفصيل . وهذه المشكلة هي موضوع الكون ككل وكيف يجب النظر إليه . إن أول ما يتبادر إلى الذهن هو أن الكون من حيث المكان (والزمان) لا نهائى فهناك نجوم فى كل أجزاء الفضاء بحيث تصبح كثافة المادة ولو أنها شديدة التباين فى تفصيلاتها واحدة فى المتوسط فى كل الفضاء أو بعبارة أخرى فإننا أينما نذهب أو مهما ابتعدنا فى تجوالنا فى الفضاء سنجد فى كل مكان حشوداً مخففة من النجوم الثابتة واحدة النوع والكثافة تقريباً .

ولا تتفق هذه النظرة مع نظرية نيوتن إذ يستوجب هذا أن يكون للكون ما يشبه المركز تبلغ كثافة النجوم فيه أقصاها ثم تأخذ فى التناقص كلما ابتعدنا عن المركز إلى أن - وذلك بعد أبعاد شاسعة - تتلاشى ليتلوها فراغ لا نهائى " . إن الكون النجمى لا بد أن يكون جزيرة منتهية فى محيط لا نهائى من الفضاء .

١ - البرهان على ذلك : تتناسب تبعاً لنظرية نيوتن خطوط القوى التى تأتى من مالا نهاية وتنتهى فى الكتلة ك مع الكتلة ك وإذا كان متوسط كثافة المادة ث فى الكون ثابتاً فإن كرة حجمها ح ستحتوى على متوسط كتلة ح ث وهكذا يصبح عدد خطوط القوى التى تمر خلال السطح س - وهو سطح الكرة - إلى داخلها متناسب مع ح ث ح وهكذا يتناسب عدد خطوط القوى التى تمر من وحدة مساحات سطح الكرة إلى داخلها مع (ح ث) أو (ث نق) وعلى ذلك تصبح أخيراً شدة المجال على سطح الكرة مع ازدياد نصف قطر الكرة لا نهائية وهذا امر مستحيل .

وهذا التصور للكون ليس مرضياً تماماً في حد ذاته وهو أقل قبولاً لأنه يضطرنا إلى التسليم بأن الضوء الذي ينبعث من النجوم وكذلك أفراد من المجموعة النجمية تخرج باستمرار إلى الفضاء اللانهائي دون رجعة وبحيث لا تعود إلى تبادل التأثير على موجودات الطبيعة الأخرى . إن مثل هذا الكون المادى المنتهى محتوم عليه أن يتلاشى تدريجياً وبانتظام .

ولتفادى هذا العيب اقترح سيلجر تعديلاً لقانون نيوتن يفرض فيه أنه في حالة المسافات الشاسعة تتناقص قوة الجذب بين كتلتين بأسرع مما تتناقص به هذه القوة تبعاً لقانون عكس المربع . وبهذه الطريقة يصبح ممكناً أن يظل متوسط كثافة المادة ثابتاً في كل مكان حتى في اللانهاية . وهكذا نتخلص من تلك الفكرة السقيمة التي تحتم أن يكون للكون شيء في طبيعة المركز . ومن الطبيعى أننا هنا نتفادى ذلك العيب السالف الذكر ولكن بضمن باهظ هو تعديل قانون نيوتن وتعقيده دون أن يكون لهذا التعديل أى أساس نظري أو تجريبي يستند إليه . إننا نستطيع أن نتخيل عدداً لا حصر له من القوانين التي تؤدي نفس الغرض ولنا ندرى أيها يجب أن نفضلها لأن أيّاً من هذه القوانين سيستند إلى نفس العدد الضئيل من المبادئ النظرية العامة مثلما يستند قانون نيوتن .

الفصل الحادى والثلاثون

إمكان وجود كون منه ولكنه غير محدود

ولكن الآراء فى بناء الكون تسير أيضاً فى اتجاه آخر جد مختلف . فقد دفع بنا تقدم الهندسة الإقليدية إلى التسليم بأننا نستطيع أن نلقى الشك على لا نهائية الفضاء حولنا دون أن نرتكب ما يخالف قوانين الفكر أو التجربة (ريمان . هليو هواتز) ولقد عالج تفاصيل هذه المسائل بوضوح لا مزيد عليه كل من هليو هواتز وبوانكاريه ، بينما لا أملك هنا إلا أن أشير إليها فى إيجاز شديد .

دعنا نتخيل أولاً عالماً ثنائى الأبعاد . كائنات مفرطة وكل ما يتعلق بها مفرط خصوصاً أدوات قياس مفرطة جاسئة وهذه كلها حرة التحرك فى « مستوى » ، وبالنسبة إلى هذه الكائنات لا وجود لشيء خارج المستوى إن كل ما يمكن أن يحدث لها أو لمتعلقاتها المفرطة سيكون محصوراً حتماً فى المستوى الذى هو بمثابة الحقيقة الشاملة بالنسبة لها وعلى الأخص سيكون مستطاعاً هنا تنفيذ إنشاءات الهندسة الإقليدية — أى مثل تلك الانشاءات الشبكية التى ناقشناها فى الفصل الرابع والعشرين — بوساطة أشرطة القياس ، وسيكون عالم هذه الكائنات على عكس عالمنا ثنائى الأبعاد ولكنه مثل عالمنا يمتد إلى ما لا نهاية . إن فى عالمها متسع لعدد لا نهاية له من المربعات المكونة من قضبان القياس أى أن حجمه (سطحه) لانهائى . وإذا قالت هذه الكائنات إن عالمها مستو فإنها تصدق لأنها تعنى بذلك أنها تستطيع تنفيذ إنشاءات الهندسة الإقليدية بأعواد قياسها التى تمثل على الدوام نفس المسافة مهما اختلفت مواضعها .

دعنا الآن تأمل عالماً آخر ثنائي الأبعاد ولكنه هذه المرة على سطح كروي بدلاً من أن يكون على سطح مستو. إن الكائنات المفرطحة وقضبان قياسها ومتعلقاتها الأخرى تتلاءم جيداً مع هذا السطح. ولا تستطيع أن تغادره. إن عالمها المرئي يمتد على سطح الكرة دون سواه. فهل تستطيع هذه الكائنات أن تعتبر هندسة عالمها هندسة مستوية وقضبان القياس التي معها تحقيقاً للساقفة ... ؟

إنها لا تستطيع ذلك لأنها إذا حاولت أن تقيم خطاً مستقيماً فإنها ستحصل على منحنى منطو على نفسه ذي طول معين منته يمكن قياسه بواسطة قضبان القياس. وبالمثل نجد أن لهذا مساحة منتهية يمكن مقارنتها بمساحة مربع مكون من قضبان القياس، وروعة هذا المثل الذي نسوقه تكمن في أنه يوضح لنا أن تكون هذه الكائنات منته غير محدود.

ولكن الكائنات التي تعيش على سطح الكرة ليست بحاجة إلى أن تدور حول العالم في رحلة لكن تبين أنها لا تعيش في كون إقليدي. إنها تستطيع أن تجد الدليل على ذلك في كل جزء من أجزاء عالمها، ما دامت لا تنقيد بجزء ضئيل منه. فإذا أخذت في رسم خطوط مستقيمة (وهي أقواس من دوائر بالنسبة لنا أصحاب الفضاء ثلاثي الأبعاد) متساوية الطول ابتداء من نقطة واحدة وفي جميع الاتجاهات فإنها ستسمى الخط الذي يربط نهايات هذه المستقيمات دائرة وعلى السطح المستوى تكون النسبة بين محيط الدائرة ونصف قطرها إذا قيس الطولان بقضيب واحد من قضبان القياس ثابتة تبعاً لهندسة إقليدس المستوية ومقدارها ط وهذا المقدار مستقل عن طول قطر الدائرة ولكن مخلوقاتنا المفرطحة ستجد لهذه النسبة المقدار :

$$\frac{\left(\frac{\pi}{\pi}\right)_{\text{جا}}}{\frac{\pi}{\pi}} \text{ ط}$$

أى أصغر قليلاً من ط . ويزداد الفرق كلما زاد نصف قطر الدائرة . بالنسبة إلى نصف القطر ، د لكرة العالم ، . وبوساطة هذه العلاقة تستطيع المخلوقات الكروية أن تحدد نصف قطر كونها ، عالمها ، ولو كان جزء صغير نسبياً من كرة عالمها هو الذى يمكن أن تتناوله قياساتها . ولكن إذا كان هذا الجزء صغيراً جداً حقاً فسوف لا تستطيع هذه الكائنات أن تثبت أنها على د عالم ، كروى لا على مستوى إقليدى لأن الجزء الصغير جداً من سطح الكرة لا يختلف إلا قليلاً عن سطح المستوى المساوى له فى الاتساع .

وهكذا إذا كانت المخلوقات التى تعيش على سطح كروى تعيش على كوكب لا تشغل مجموعته الشمسية إلا قدراً ضئيلاً من الفضاء الكروى لن يكون فى مقدورها أن تعرف إن كانت تعيش فى كون منته أم لا نهائى لأن د الجزء من الكون ، الذى تتناوله أرصاد وأبحاث هذه الكائنات مستوى عملياً فى كلتا الحالتين أى إقليدى . ويتبع ذلك مباشرة أنه بالنسبة للكائنات التى على سطح كروى يزايد محيط الدائرة أولاً تبعاً لنصف القطر حتى يصل إلى محيط الكون ولكن إذا استمر نصف القطر فى الازدياد يأخذ عند ذلك المحيط فى التناقص حتى يصل إلى الصفر .

وأثناء هذه العملية تستمر مساحة الدائرة فى الازدياد أكثر فأكثر إلى أن تصبح مساوية للمساحة الكلية لكل دكرة العالم ، .

ربما تعجب القارئ لماذا وضعنا دكائناتنا ، على كرة لا على أى شكل آخر مغلق . إن لهذا الاختيار سبباً يبرره يتلخص فى أن الكرة من بين كل الأشكال المغلقة الأخرى تنفرد بأن جميع النقاط التى عليها متكافئة . إننى أسلم بأن النسبة بين محيط الدائرة ح ونصف قطرها هو توقف على نصف قطرها هو ولكن فيما يتعلق بالقيمة الواحدة لنصف القطر تكون هذه

النسبة واحدة بالنسبة إلى جميع النقط التي على سطح «العالم» ، أو بعبارة أخرى إن كرة العالم سطح ثابت الانحناء .

ويوجد « لكرة العالم » ثنائية الأبعاد هذه مثل ثلاثي الأبعاد هو الفضاء الكروي ثلاثي الأبعاد الذي اكتشفه ريمان ، كل نقطة متكافئة أيضاً وله حجم منته يحدده « نصف قطره » ، ($2\pi r^2$) . ولكن هل من الممكن تصور فضاء كروي ... ؟ إن تصور أى فضاء لا يعنى سوى أن نتصور ملخص تجربتنا فيه ، أى التجربة التي نحصل عليها في حركة الأجسام « الجاسئة » ، وعلى هذا النحو نستطيع أن نتصور الفضاء الكروي .

تصور أننا نرسم خطوطاً أو نمد أوتاراً من نقطة ما إلى جميع الاتجاهات . ثم نضع علامة على كل من هذه الخطوط أو هذه الأوتار على بعد r من النقطة بواسطة قضيب قياس .

إن كل نهايات هذه الخطوط أو الأوتار عند هذه العلامات تقع على سطح كروي ونستطيع على الأخص أن نقيس المسافة r على هذا السطح الكروي بواسطة مربع مكون من قضبان القياس فإذا كان الكون إقليدياً فإن مساحة السطح تساوى $4\pi r^2$ وإذا كان كروياً تكون أقل دائماً من $4\pi r^2$ وكلما زادت قيمة r زادت r على الصفر إلى أن تصل حد أقصى يحدده « نصف قطر العالم » ، ولكن إذا زادت قيمة r أكثر من ذلك أخذت المساحة في التناقص تدريجياً إلى أن تصل أخيراً إلى الصفر . إن الخطوط الخارجة من نقطة الابتداء تتباعد عن بعضها البعض في أول الأمر أكثر فأكثر ثم تتقارب بعد ذلك وأخيراً تجرى معاً مرة ثانية في نقطة مقابلة لنقطة الابتداء . وفي هذه الظروف تكون قد عبرت كل الفضاء الكروي . وهكذا يبدو بسهولة أن الفضاء الكروي الثلاثي الأبعاد يشبه الفضاء الكروي ثنائي الأبعاد ، إنه منته (أى منتهى الحجم) وليس له حدود تحده .

ويحسن أن نذكر أنه يوجد نوع آخر من الفضاء المنحني هو الفضاء الناقصى ، الذى يمكن اعتباره فضاء منحنيًا ، النقطتان المتقابلتان فيه متطابقتان ، أى لا يمكن التمييز بينهما بل تامتا التماثل ، وهكذا يمكن اعتبار الكون الناقصى إلى حد ما كوناً منحنيًا له تماثل مركزى .

بما تقدم يتضح أنه من الممكن إدراك الفضاءات المقفولة التى ليس لها حد يحدها ومن بينها يعد الفضاء الكروى والفضاء الناقصى أكثرها بساطة . لأن جميع نقط أى هذين الفضاءين متكافئة . وكنتيجة لما تقدم ينهض أمام الفلكيين وعلماء الفيزياء سؤال على جانب عظيم من الأهمية : هل الكون الذى نعيش فيه لا نهائى أو أنه منته على نحو الكون الكروى ؟ إن تجاربنا أقل جداً من أن تسمح لنا بالإجابة عن هذا السؤال ولكن نظرية النسبية العامة تسمح لنا أن نجيب عنه بقدر معقول من التأكيد . وهكذا تجد المشكلة التى قابلتنا فى الفصل الثلاثين حلاً لها .

الفصل الثاني والثلاثون

بناء الفضاء تبعاً للنظرية النسبية العامة

ليست الخواص الهندسية للفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة مستقلة عن المادة بل إن المادة تحدد هذه الخواص . وعلى ذلك لاسبيل لنا إلى دراسة البناء الهندسى للكون مالم يتوافر لنا مقدماً معرفة حالة المادة فيه كأساس للدراسة . ونحن نعرف بالتجربة أن سرعات النجوم بالنسبة إلى مجموعة إسناد مناسبة ، صغيرة جداً إذا ما قورنت بسرعة انتشار الضوء . وعلى ذلك نستطيع على وجه التقريب أن نصل إلى رأى عن طبيعة الكون ككل لو عالجتنا المادة باعتبارها ساكنة .

ونحن نعلم كما رأينا فى الفصول السابقة أن سلوك قضبان القياس والساعات يتأثر بالمجالات الجاذبية أى بتوزيع المادة وهذا فى حد ذاته يكفى لاستبعاد احتمال أن تكون هندسة الكون إقليدية . ولكنه أمر ميسور الفهم أن الكون الذى نعيش فى لا يختلف إلا قليلاً عن الكون الإقليدى وهذه الفكرة تبدو أكثر احتمالاً مادامت التقديرات الحسائية تظهر أن قياسات الفضاء المحيط بالمادة لا تتأثر إلا تأثيراً ضعيفاً حتى من أجسام بمثل كتلة الشمس . ويمكن أن نتخيل أن الكون من الناحية الهندسية يسلك سلوك سطح منحني بغير انتظام فى أجزائه الفردية دون أن يبتعد كثيراً فى أى مكان فيه عن المستوى . إنه يبدو كسطح بحيرة متموج ، وكون كهذا يمكن أن يقال عنه إنه شبه إقليدى وإنه من حيث فضاؤه لانهائى . ولكن التقديرات الحسائية تظهر أن كثافة المادة فى كون شبه إقليدى لا بد أن تكون صفراً . وهكذا لا يمكن أن يكون مثل هذا الكون مأهولاً بالمادة فى كل

أجزائه، إنه سيعيد أمامنا الصورة غير المرضية التي رسمناها في الفصل الثلاثين. فإذا كان لابد أن يكون للمادة في الكون متوسط كثافة يختلف عن الصفر مهما كان هذا الاختلاف ضئيلاً فلا بد إذا أن يكون الكون غير إقليدي ولا حتى شبه إقليدي، وعلى العكس ثبت نتائج التقديرات الحسائية أنه إذا انتظم توزيع المادة فإن الكون يكون بالضرورة كروياً (أو ناقصاً) ولما كان توزيع المادة تفصيلاً في الحقيقة ليس منتظماً فإن الكون الحقيقي سينحرف في أجزائه الفردية عن الكروي أي أن الكون سيكون شبه كروي ولكنه سيكون بالضرورة منتهياً. ولكن النظرية تمدنا في الواقع بعلاقة "بسيطة بين التمدد الفضائي للكون ومتوسط كثافة المادة فيه.

١ - لنصف القطر r للكون نحصل على المعادلة $r^2 = \frac{2}{3} \frac{c^2}{H^2}$ وإذا استخدمنا النظام سم . جرام . ثانية للقياس في هذه المعادلة حصلنا على $\frac{2}{3} = 1.08 \times 10^{27}$ حيث H هو متوسط كثافة المادة ، H ثابت متعلق بثابت نيوتن للجاذبية .

الملاحق

- ١ - اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز
- ٢ - فضاء منكوفسكي رباعي الأبعاد ، عالم ،
- ٣ - التأييد التجريبي لنظرية النسبية العامة
- ٤ - بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة
- ٥ - النسبية ومشكلة الفضاء

الملحق الأول

اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز

(تكلمة للفصل الحادى عشر)

يجب أن نراعى أن يتطابق باستمرار المحوران السينيان لكل من مجموعتى الإحداثيات الموضحتين فى شكل - ٢ - . وبذلك يتم بعض التوجيه النسبى لهما . وفى الحالة الحاضرة نستطيع أن نجزى المسألة إلى أجزاء بأن نضع محل الاعتبار أولاً الحوادث التى تقع على المحاور (س) فقط . فأى هذه الحوادث يمثلها بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات (م) الإحداثى س و الزمن ز . وبالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات (م) الإحداثى س و الزمن ز وعلينا أن نجد س ، ز إذا كنا نعلم س ، ز .

إن أية إشارة ضوئية تنتقل على طول المحور الإيجابى س تنتشر وفقاً للمعادلة $s = cz$

أى $s - cz = 0$ (١)

ولما كانت نفس الإشارة الضوئية يجب أن تنتشر بالنسبة إلى م بالسرعة ح فعلى ذلك سيكون انتشار الضوء بالنسبة إلى المجموعة م وفق المعادلة المماثلة

$s' - cz' = 0$ (٢)

إن تلك النقط الزمكانية (الحوادث) التى تحقق المعادلة (١) لا بد أن تحقق المعادلة (٢) أيضاً . وواضح أن هذا يتحقق عندما تتحقق عموماً العلاقة . $(s' - cz') = T(s - cz)$ (٣)

حيث تشير ت إلى ثابت . لأنه تبعاً للمعادلة (٣) نجد أن اختفاء
(س - ح ز) يتضمن اختفاء (س - ح ز) .

وإذا أجرينا المثل على أشعة الضوء التي تنتشر على المحور السليبي س
نحصل على الحالة .

(٤) $(س - ح ز) = ت (س - ح ز)$
وإذا جمعنا (أو طرحنا) المعادلات (٣) ، (٤) وأحلنا للسهولة
الثوابت ١ ، ب محل الثوابت ت ، ث بحيث تكون :

$$\frac{ت + ث}{٢} = ١$$

$$\frac{ت - ث}{٢} = ب ،$$

نحصل على المعادلات

(٥)
$$\begin{cases} س = ١ + ب + ح ز \\ ح ز = ١ - ب - س \end{cases}$$

وهكذا يجب أن نحصل على حل المشكلة لو كنا نعلم الثوابت ١ ، ب :
وهذه الثوابت يمكن معرفتها تبعاً لما يلي :

بالنسبة إلى أصل م يكون لدينا على الدوام س = صفر

وعلى ذلك يكون تبعاً للمعادلة الأولى من المعادلات (٥)

$$س = \frac{ب + ح}{١}$$

وإذا رمزنا بالرمز ع إلى السرعة التي يتحرك بها أصل م بالنسبة إلى م

(٦) يكون : $ع = \frac{ب + ح}{١}$

ونفس القيمة ع يمكن الحصول عليها من المعادلات (٥) إذا حسبنا سرعة نقطة أخرى من مَ بالنسبة إلى م أو السرعة (الموجهة نحو المحور السيني السلبى) لنقطة على م بالنسبة إلى مَ . وباختصار نستطيع أن نسمى ع السرعة النسبية للجموعتين .

وفوق ذلك فإن مبدأ النسبية يعلمنا أن طول وحدة القياس الساكنة بالنسبة إلى م كما يبدو لراصد على م يجب أن يكون هو نفس طول وحدة القياس الساكنة بالنسبة إلى م كما يبدو لراصد على مَ . ولكى نرى كيف تظهر نقط المحور سَ لراصد على م فإننا نحتاج فقط إلى التقاط صورة خاطفة (لقطة سريعة) للمجموعة مَ من المجموعة م . ومعنى هذا أنه يجب علينا أن ندخل قيمة خاصة ز (ز من م) أى ز = صفر وهذه القيمة من ز نحصل من المعادلة الأولى (٥) على :

$$س' = ١ س$$

وعلى ذلك تكون النقطتان اللتان تفصلهما على المحور س المسافة $\Delta س = ١$ مقيسة فى المجموعة مَ مفصولتين فى اللقطة الخاطفة أو الصورة اللحظية بالمسافة :

$$\Delta س = \frac{١}{\gamma} \quad (٧)$$

ولكن إذا أخذت اللقطة السريعة من مَ (ز = صفر) وإذا استبعدنا زمن المعادلات (٥) وأدخلنا فى اعتبارنا التعبير (٦) حصلنا على :

$$س' = ١ \left(\frac{ع}{ح} - ١ \right) س$$

ومن هذا نستخلص أن نقطتين على المحور س تفصلهما المسافة ١ (بالنسبة إلى م) سيمثلهما فى الصورة الخاطفة التى أخذناها المسافة :

$$\Delta س' = \left(\frac{ع}{ح} - ١ \right) س \quad (١٧)$$

ولكن لا بد تبعاً لما تقدم ذكره أن تكون صورتان متماثلتين وعلى ذلك لا بد أن تكون Δ س في (٧) متساوية مع Δ س في (١٧) بحيث نحصل على :

$$(٧) \quad \frac{1}{\frac{c^2}{h^2} - 1} = \frac{1}{c^2}$$

والمعادلتان (٦) و (٧) تحددان الثابتين h و c . وإذا أدخلنا قيمة هذين الثابتين في (٥) نحصل على المعادلة الأولى والرابعة اللتين سبق ذكرهما في الفصل الحادى عشر.

$$(٨) \quad \left[\begin{array}{l} \frac{s - c z}{\frac{c^2}{h^2} - 1} = s \\ \frac{z - \frac{c}{h^2} s}{\frac{c^2}{h^2} - 1} = z \end{array} \right]$$

وهكذا حصلنا على تحويل لورنتز بالنسبة إلى الحوادث على المحور س وهو يحقق الشرط :

$$(١٨) \quad s^2 - c^2 z^2 = s'^2 - c^2 z'^2$$

وامتداد هذه النتيجة ليشمل الحوادث التى تقع خارج المحور س يمكن الحصول عليه بالاحتفاظ بالمعادلات (٨) وتزويدها بالعلاقات :

$$(٩) \quad \left[\begin{array}{l} s' = s \\ s'' = s \end{array} \right]$$

وبهذه الطريقة تحقق الفرض الذى ينص على أن سرعة الضوء ثابتة
فى الفراغ (مهما كان اتجاه اشعته) بالنسبة إلى كلا المجموعتين م ٦ م ٠ .
ويمكن توضيح ذلك كما يلي :

دعنا نتخيل أن إشارة ضوئية أرسلت من أصل م فى الوقت $z=0$ صفر
إنها سوف تنتشر تبعاً للمعادلة :

$$c^2 = \dot{z}^2 + \dot{x}^2 + \dot{y}^2$$

وإذا ربعنا هذه المعادلة نجد أن الإشارة الضوئية ستنتشر تبعاً للمعادلة.

$$(10) \quad \dot{z}^2 + \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = 0$$

ويستوجب قانون انتشار الضوء مرتبطاً مع فرض النسبية أن يحدث
انتقال الإشارة الضوئية — وذلك كما يبدو بالنسبة إلى المجموعة م — تبعاً
للتعبير المناظر :

$$\dot{z}^2 = c^2$$

$$(110) \quad \dot{z}^2 + \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = 0$$

وحتى تكون المعادلة (١١٠) نتيجة للمعادلة (١٠) يجب أن يكون :

$$(11) \quad \dot{z}^2 + \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = 0$$

ولما كانت المعادلة (١٨) يجب أن تنطبق على النقط التى على المحور س
فإننا هكذا نحصل على $\phi = 1$ ومن السهل أن نرى أن تحويل لورنتز يحقق
فعلا المعادلة (١١) عندما تكون $\phi = 1$ لأن (١١) نتيجة للمعادلات
(١٨) و (٩) وعلى ذلك فهى أيضاً نتيجة للمعادلات (٨) و (٩) ، وهكذا
نكون قد قمنا باشتقاق تحويل لورنتز .

وتحويل لورنتز الذى تمثله المعادلتان (٨) و (١٠) لا يزال بحاجة إلى أن
يعمم . فمن الواضح أنه ليس محتملاً أن نختار محاور م بحيث تتوازي

مكانياً مع محاور م ، وليس محتماً أيضاً أن تكون سرعة انتقال م بالنسبة إلى م في اتجاه المحور س . وإذا أمعنا الفكر قليلاً نرى أننا نستطيع أن نبني تحويل لورنتز بهذا المعنى العام من نوعين من التحويلات هما تحويلات لورنتز بالمعنى الخاص ، ومن التحويلات المكانية البحتة الأمر الذي يناظر استبدال مجموعة الإحداثيات قائمة الزوايا بمجموعة جديدة تتجه محاورها في اتجاهات أخرى . ونستطيع رياضياً أن نصف تحويل لورنتز المعمم كما يلي :

أنه يعبر عن \bar{S} ، \bar{V} ، \bar{S} ، \bar{Z} في حدود الدوال الخطية المتماثلة للبقادير S ، V ، S ، Z بشكل يجعل العلاقة :

$$\bar{S} + \bar{V} + \bar{S} - \bar{Z} = S + V + S - Z \quad (111)$$

تتحقق بذاتها . أى أننا إذا أحللنا تعبيراتها في حدود S ، V ، S ، Z محل \bar{S} ، \bar{V} ، \bar{S} ، \bar{Z} في الشق الأيسر فإن الشق الأيسر من (111) يتفق مع الشق الأيمن عند ذلك .

الملحق الثانى

فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد

(تسكلة الفصل السابع عشر)

من الممكن أن نحدد معالم تحويل لورنتز بطريقة أكثر بساطة مما تقدم إذا نحن أدخلنا الكمية الخيالية $\sqrt{-1}$ ح ز محل ز كتغير الزمن . وإذا أدخلنا متفقاً مع هذا :

$$s_1 = s$$

$$s_2 = \sqrt{-1} s$$

$$s_3 = \sqrt{-1} s$$

$$s_4 = \sqrt{-1} s$$

وبالمثل للجموعة م . عند ذلك يمكن التعبير عن الشرط الذى تحقق بالذات هكذا :

$$s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 = s^2 \quad (12)$$

أى أنه عن طريق هذا الاختيار للإحداثيات تتحول المعادلة (11) إلى هذه المعادلة (12) .

ونرى من المعادلة 12 أن الإحداثى الزمنى الخيالى s_4 يدخل فى شرط التحويل بنفس الطريقة التى تدخل بها الإحداثيات s_1, s_2, s_3 ونتيجة لهذه الحقيقة يدخل « الزمن » s_4 تبعاً لنظرية النسبية فى القوانين الطبيعية بنفس شكل إحداثيات المكان s_1, s_2, s_3 .

ولقد سمي منكوفسكى المتصل رباعى الأبعاد الذى تصفه «الإحداثيات»
 s_1, s_2, s_3, s_4 «عالمًا» كما سمي «نقطة حادثة» «بنقطة عالم» ومن
 «حدوث» فى فضاء ثلاثى الأبعاد تتحول الفزياء كما لو كانت «وجوداً» فى
 «العالم» رباعى الأبعاد .

وهذا «العالم» رباعى الأبعاد يحمل فى طياته تماثلاً قريباً من الفضاء
 ثلاثى الأبعاد فى هندسة إقليدس التحليلية . فإذا أدخلنا فى هذا الأخير
 مجموعة إحداثيات كارتيزية جديدة $(\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4)$ بنفس الأصل
 فإن s_1, s_2, s_3, s_4 تكون دوال خطية متماثلة لـ $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_3, \bar{s}_4$
 التى تحقق بذاتها المعادلة $\bar{s}_1^2 + \bar{s}_2^2 + \bar{s}_3^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2$.

والتماثل مع (١٢) تماثل تام . ويمكننا اعتبار «عالم» منكوفسكى بطريقة
 شكلية فضاءً إقليدياً رباعى الأبعاد (له إحداثى زمانى خيالى) ويكون تحويل
 لورنتز مناظراً «لدوران» مجموعة الإحداثيات فى «العالم» رباعى الأبعاد .

الملحق الثالث

الإثبات التجريبي لنظرية النسبية العامة

نستطيع أن نتخيل من الناحية النظرية المنظمة عملية تطور علم من العلوم الوصفية على أنها في الواقع عملية استقرار مستمرة . إننا نضع النظريات ونصوغها في عبارة وجيزة . وهي تضمينات لعدد كبير من الملاحظات الفردية في صورة قوانين وصفية . ومن هذه النظريات نستطيع تأكيد القوانين العامة عن طريق المقارنة . من هنا نرى أن نمو وتقدم علم من العلوم يشبه شهاً كبيراً عملية وضع أو إنشاء فهرس مبوب . إنه يبدو كما لو كان أمراً وصفاً محضاً .

ولكن هذا الرأي رأى ضيق الأفق فهو لا يحيط أبداً بكل نواحي العملية في الواقع ؛ لأنه بغض النظر عن الدور الهام الذي يلعبه الحدس والفكر الاستنباطي في نمو علم من العلوم المضبوطة . إذ بمجرد أن يخطو علم ما من هذه العلوم خطواته الأولى لا تعد خطوات تقدمه النظرية التالية تتم عن طريق مجرد التبويب ؛ لأن الباحث متأثراً بالمدلولات التجريبية يميل إلى اتخاذ منهج فكري يعتمد منطقياً على عدد صغير من الفروض الأساسية التي تسمى بديهيات . ومثل هذا المنهج أو المذهب الفكري يسمى نظرية . والمبرر الوحيد لوجود النظرية هو أنها تنتظم عدداً كبيراً من المشاهدات المفردة . وفي هذا الأمر بالذات يمكن صدق ، النظرية .

وقد يقابل المجموعة المتشابهة الواحدة من المعطيات الوصفية عدة نظريات قد تختلف فيما بينها إلى حد بعيد . ولكن هذه النظريات من ناحية الاستنتاجات التي تشتق منها والتي يمكن اختبارها عملياً قد يكون الاتفاق بينها تاماً بحيث يتعذر العثور على استنتاج واحد يختلف حوله

هذه النظريات . ومن أمثلة ذلك حالة مشهورة في علم الحياة يهتم لها الكثيرون هي نظرية داروين في أصل الأنواع وتطورها عن طريق بقاء الأصلح في معترك الوجود . والنظرية الأخرى في تطور الأنواع على أساس انتقال الخواص المكتسبة وراثياً .

وهناك مثال آخر لذلك - هو الاتفاق البعيد المدى في الاستنتاجات من نظريتين في الميكانيكا النيوتونية من ناحية ونظرية النسبية العامة من الناحية الأخرى . وهذا الاتفاق يذهب بعيداً إلى حد أننا إلى الآن لم نعثر إلا على استنتاجات قليلة يمكن وضعها موضع البحث والاختبار ولا تؤدي إليها أيضاً فزياء ما قبل النسبية . وهذا على الرغم من الاختلاف العميق بين الفروض الأساسية للنظريتين . وسنتأمل فيما يلي مرة ثانية هذه الاستنتاجات الهامة وسناقش الشواهد التجريبية التي حصلنا عليها إلى الآن ، والتي تتعلق بها .

(١) حركة حضيض مسار عطارد :

يجب أن يدور الكوكب الذي يدور حول الشمس وذلك تبعاً لميكانيكا نيوتن وقانون نيوتن للجاذبية في قطع ناقص حولها أو بعبارة أصح حول مركز الثقل المشترك للكوكب والشمس . وفي مثل هذه المجموعة تقع الشمس أو مركز الثقل المشترك في إحدى بؤرتي القطع بحيث يأخذ البعد الشمس - الكوكب في التزايد من حد أدنى إلى حد أقصى ثم يتناقص ثانية إلى الحد الأدنى وذلك خلال سنة كوكبية^(١) ولو أننا أحللنا محل قانون نيوتن قانوناً آخر للجذب مختلفاً بعض الشيء لوجدنا في التقدير الحسابي أن الحركة ستظل تحدث تبعاً لهذا القانون الجديد بحيث يظل البعد

(١) هذا هو ما يسمى أحياناً بالاولج والحضيض (المترجم)

الكوكب - الشمس دورى التغير . ولكن فى هذه الحالة ستكون الزاوية المحصورة بين الخطين الواصلين من الشمس إلى الكوكب فى أول هذه الفترة ثم فى نهايتها (أى من حضيض - أقرب نقطة إلى الشمس - إلى حضيض تال) تختلف عن ٣٦٠ درجة ولن يكون خط المدار خطأ مقفولا بل إنه مع الزمن سيملاً جزئياً حلقياً من مستوى المدار . أعنى بين دائرة أقل بعد للكوكب ودائرة أكبر بعد له عن الشمس .

وتبعاً لنظرية النسبية العامة التى تختلف طبعاً عن نظرية نيوتن نجد أن تغييراً صغيراً عن حركة نيوتن - كبلر للكوكب ما فى مداره يجب أن تحدث . بحيث تكون الزاوية المحصورة بين القطر الشمس - الكوكب فى الحضيض . والذي يليه تزيد على الزاوية التى تناظر دورة كاملة بمقدار يحدده .

$$+ \frac{2\pi}{(1 - \epsilon^2)} \frac{r^2}{a^3} \frac{d\epsilon}{dt}$$

ملاحظة : تقابل دورة كاملة الزاوية ٢ ط فى القياس المطلق للزوايا المستعمل فى الفزياء . والتعبير عالىه يحدد المقدار الذى يزيد به قطر الشمس - الكوكب على هذه الزاوية خلال الفترة بين حضيض والذي يليه . وفى هذا التعبير ترمز ١ لنصف المحور الأكبر للقطع الناقص ٤ ى إلى بروزه ٤ ح إلى سرعة الضوء ٤ ى إلى مدة دورة الكوكب . ويمكن وضع هذه النتيجة على هذا النحو أيضاً : إن المحور الأكبر للقطع الناقص يدور تبعاً لنظرية النسبية العامة حول الشمس على نحو الحركة المدارية للكوكب ، وتستوجب نظرية النسبية أن يكون هذا الدوران بمقدار ٤ ٣ ثانية من القوس فى القرن بالنسبة للكوكب عطارد ، أما بالنسبة للكواكب الأخرى فى مجموعتنا الشمسية فإن مقداره تبعاً لنظرية النسبية لا بد وأن يكون صغيراً جداً بحيث لا يسهل الاستدلال عليه (١) .

(١) خصوصاً وإن الكوكب التالى وهو الزهرة له مدار يكاد يطابق الدائرة مما يجعل تحديد الحضيض أمراً بالغ الصعوبة (الحضيض هو الموقع الذى يكون فيه الكوكب أقرب ما يكون إلى الشمس) .

ولقد وجد الفلكيون في الحقيقة أن نظرية نيوتن ليست كافية لحساب حركة عطارد التي كشفت عنها الأرصاد بدقة تناظر الدقة والحساسية التي وصلت إليها الأرصاد حالياً . ولقد وجد كل من لوفرييه سنة ١٨٥٩ ونيوكامب سنة ١٨٩٥ أنه بعد وضع كل عوامل الاضطراب المؤثرة على عطارد بواسطة بقية الكواكب محل الاعتبار قد تبقت حركة حضيضية لا تفسير لها مقدارها لا يختلف كثيراً عن المقدار المذكور عالياً وهو + ٤٣ ثانية القوس في القرن . وكان مقدار التقريب في هذه النتيجة لا يتجاوز ثوان قليلة فقط .

(ب) انحناء الضوء تحت تأثير مجال الجاذبية :

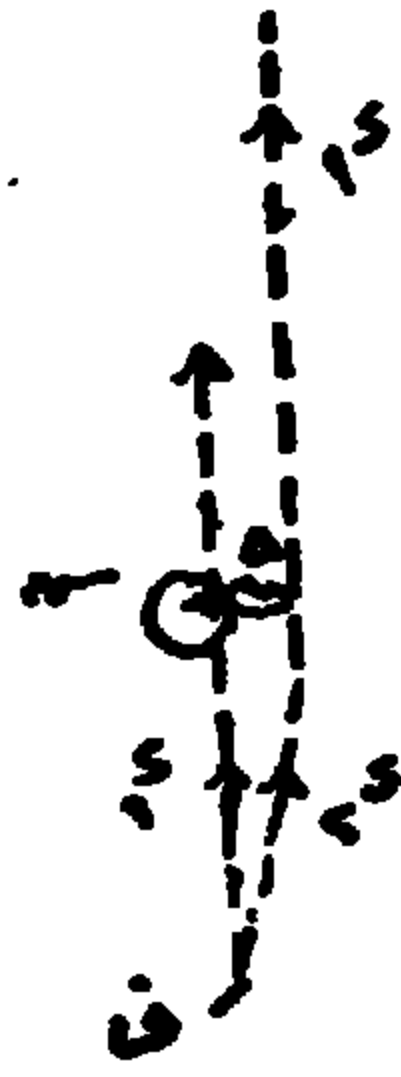
لقد ذكرنا في الفصل الثاني والعشرين أن نظرية النسبية العامة تنص على أن شعاع الضوء ينحرف عن طريقه عند مروره في مجال جاذبي . وهذا الانحراف يشبه ما يعانيه مسار جسم قذف في مجال جاذبي . ولذلك يجب أن نتوقع أن ينحرف شعاع الضوء الذي يمر قريباً من جرم سماوي نحو هذا الجرم . وزاوية الانحراف الذي يعانيه شعاع ضوئي يمر قريباً من الشمس على مسافة Δ نصف قطر الشمس من مركزها يجب أن يكون مقدارها :

$$\frac{1.7 \text{ ثانية من القوس}}{\Delta} = 1$$

ويمكن هنا أن نضيف إلى ما تقدم أنه تبعاً للنظرية يكون نصف هذا الانحراف ناشئاً عن المجال النيوتوني لجاذبية الشمس والنصف الآخر ناشئاً عن التغير الهندسي للفضاء (الانحناء) الذي تحدثه الشمس .

وهذه النتيجة بما يمكن التحقق منها عملياً بواسطة التسجيل الفوتوغرافي لمواقع النجوم أثناء الكسوف الكلي للشمس والسبب الوحيد الذي يضطرنا إلى انتظار فترة كسوف الشمس هو أنه في الأوقات الأخرى تكون السماء

مضادة بشدة بضوء الشمس لدرجة تجعل النجوم القريبة الموضع من قرص الشمس متعذرة الرؤية . والاثـر الذى تتنبأ به نظرية النسبية العامة يمكن فهمه بوضوح من الشكل التوضيحي المرافق لهذا . فإذا لم تكن الشمس موجودة فإن نجماً بعيداً لدرجة لا نهائية عملياً يرى فى الاتجاه θ ، إذا رُصد من الأرض ولكنه نتيجة لانحراف الضوء الصادر من النجم بوساطة الشمس فإنه سيرى فى الاتجاه θ' أى على بعد من مركز الشمس أكبر قليلاً مما يناظر موقعه الحقيقى .



والطريقة العملية لإجراء هذا الاختبار هى تصوير النجوم التى فى جوار الشمس أثناء كسوفها ثم تؤخذ صور أخرى لنفس تلك النجوم عندما تكون الشمس فى موضع آخر من السماء أى بعد أو قبل ذلك بشهور قليلة . فإذا قورنت هذه الصورة بالصورة القياسية فإن مواقع هذه النجوم على الصورة أثناء الكسوف يجب أن تبدو مزحزحة قطرياً إلى الخارج (بعيداً عن مركز الشمس) بمقدار يساوى الزاوية θ .

ونحن مدينون للجمعية الملكية والجمعية الفلسفية الملكية باختبار هذا الاستنتاج المهم . فلقد قامت هاتان الجمعيتان ولم تقعدهما الحرب ولا الصعاب المادية أو النفسية التى أثارتهما هذه الحرب فأرسلتا بعثتين واحدة إلى سوبرال (البرازيل) والأخرى إلى جزر برنسيب فى غرب أفريقيا . وأرسلتا عدداً من أشهر الفلكيين البريطانيين (ادنجتون وكننجهام وكروملين ودافيدسن) لى تحصل على الصور الفوتوغرافية لكسوف الشمس يوم ٢٩/٥/١٩١٩ . ولقد كانت الفروق المنتظر وجودها بين الصور الفوتوغرافية للنجوم أثناء كسوف الشمس وصور المقارنة تبلغ من الصغر حد أجزاء قليلة من المائة من المليمتر فقط، وهكذا كان لازماً أن تراعى الدقة البالغة والحساسية الفائقة فى التقاط الصور ثم إجراء القياسات بعد ذلك .

ولقد أيلت نتائج هذه القياسات نظرية النسبية بطريقة تبعث على الرضا والارتياح التامين . والجدول التالي يوضح النتائج وهي تشمل المركبات قائمة الزوايا للانحرافات تبعاً للتقدير الحسابي استناداً إلى النظرية والمقادير التي وجدت عملياً في التجربة بالقياس .

رقم النجم	الإحداثي الأول		الإحداثي الثاني	
	تبعاً للتجربة	حسابياً	تجريبيّاً	حسابياً
١١	٠,١٩-	٠,٢٢-	٠,١٦+	٠,٠٢+
٥	٠,٢٩+	٠,٣١+	٠,٤٦+	٠,٤٣+
٤	٠,١١+	٠,١٠+	٠,٨٣+	٠,٧٤+
٣	٠,٢٠+	٠,١٢+	١,٠٠+	٠,٨٧+
٦	٠,١٠+	٠,٠٤+	٠,٥٧+	٠,٤٠+
١٠	٠,٠٨+	٠,٠٩+	٠,٢٥+	٠,٣٢+
٢	٠,٩٥+	٠,٨٥+	٠,٢٧	٠,٠٩-

(ح) انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر

لقد أوضحنا في الفصل الثالث والعشرين أنه في مجموعة الإسناد م التي في حالة دوران بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية م تسير الساعات متماثلة البناء والتي تعتبر في حالة سكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الدوارة بمعدلات تعتمد على مواقع الساعات وسنختبر الآن مدى هذا الاعتماد ومقداره كياً . إن الساعة التي توضع على المسافة ف من مركز القرص يكون لها سرعة بالنسبة إلى م يحددها :

$$ع = ع ف$$

حيث تكون ع السرعة الزاوية لدوران القرص م بالنسبة إلى م فإذا كانت غ تمثل عدد دقائق الساعة من الزمن (د معدل ، الساعة) بالنسبة

إلى م عندما تكون الساعة في حالة السكون فإن « معدل » الساعة ع : عندما تكون متحركة بالنسبة إلى م بالسرعة ع ولكنها ساكنة بالنسبة إلى القرص سيكون تبعاً للفصل الثاني عشر تبعاً للمعادلة :

$$غ = غ. \sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}$$

أو تحدده بدقة كافية المعادلة .

$$غ = غ. \left(1 - \frac{1}{2} \frac{ع^2}{ح^2} \right)$$

وإذا رمزنا إلى فرق الجهد لقوة الطرد المركزية بين موضع الساعة ومركز القرص بالرمز $ش$ أى الشغل باعتبار سلبى الذى يجب أن يتم على وحدة الكتلة ضد قوة الطرد المركزية لكي ينقلها من موضع الساعة على القرص الدائر إلى مركز القرص . عند ذلك نحصل على :

$$ش = \frac{ع^2}{2} \text{ ف } غ$$

$$غ = غ. \left(1 + \frac{ش}{ح^2} \right)$$

ومن هذا التعبير نرى أولاً أن ساعتين متماثلتي التركيب تسيران بمعدلين مختلفين عندما توضعان على مسافات مختلفة من مركز القرص وهذه النتيجة صحيحة بالنسبة لراصد يدور مع القرص .

والآن نجد أن القرص واقع بالنسبة لراصد عليه في مجال جاذبي جهده $ش$ ولذلك تنطبق النتيجة التى حصلنا عليها عليه على المجالات الجاذبية جيداً . وفوق ذلك فإننا نستطيع أن نعتبر النرة التى تصدر عنها خطوط الطيف مثلها مثل الساعة ولهذا نجد أن العبارة التالية صحيحة :

تصدر الذرة أو تمتص ضوءاً يتوقف تردده على جهد المجال الجانبي
الذى تقع فيه الذرة ، .

وتردد ذرة على سطح جرم سماوى سيكون أقل قليلاً من تردد ذرة من
نفس العنصر موجودة فى الفضاء الحر أو على سطح جزم سماوى أصغر)
والآن نجد أن $\frac{L}{F} = -L$ حيث L ثابت نيوتن للجاذبية ، L كتلة

الجزم السماوى . وهكذا نجد أن خطوط الطيف يجب أن تنتقل نحو الأحمر
على سطوح النجوم مقارنة بخطوط الطيف لنفس العنصر على الأرض
ومقدار هذا الانتقال هو :

$$\frac{G}{G_0} = \frac{L}{F}$$

ولقد وجد أن مقدار الانتقال نحو الأحمر بالنسبة للشمس كما تنبأ به
النظرية يبلغ حوالى جزءين من مليون من طول الموجة . وليس من الممكن
الحصول على تقدير يوثق به لهذا المقدار بالنسبة للنجوم لأننا على العموم
نجهل كل من الكتلة والقطر بالنسبة لها .

ومسألة وجود هذا الأثر أو عدم وجوده مسألة لم تتقرر بصفة نهائية
حتى الآن (سنة ١٩٢٠) ويعمل الفلكيون بهمة عظيمة وحماس بالغ للوصول
إلى حلها . وبالنسبة إلى مسألة الأثر فى حالة الشمس نجد أنه من الصعب جداً
أن نكون رأياً عن وجوده فبينما يضع جرب وباكم (بون) نتيجة لقياساتها
شخصياً وقياسات أفرشد وشوارتز تشيلد على الحزم السيانورية وجود هذا
الأثر فوق كل شك نجد علماء آخرون على الأخص سانجون قد انتهوا إلى
الرأى المضاد تبعاً لقياساتهم .

إن متوسط انتقالات الخطوط الطيفية نحو الجزء الأقل حيوداً من
الطيف تكشف عنه بكل تأكيد الأبحاث الإحصائية على النجوم الثابتة

ولكن لا يسمح لنا إلى الآن فحص المدلولات الممكنة الحصول عليها باتخاذ قرار محدد فيها إذا كانت هذه الانتقالات واجبا إرجاعها في الحقيقة إلى تأثير الجاذبية أم لا . ولقد جمعت نتائج الأرصاد معا ونوقشت بالتفصيل من وجهة نظر المسألة التي شغلت انتباهنا هنا في بحث تمتع قام به فرويدلش^(١)

على أية حال سوف نصل إلى قرار حاسم في السنوات القليلة القادمة فإذا كان انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر بتأثير الجهد الجاذبي غير موجود فإن نظرية النسبية تصبح مرفوضة لا محل لقبولها أما إذا كان سبب هذا الانتقال يمكن إرجاعه بالتحديد إلى الجهد الجاذبي فإن دراسة هذا الانتقال ستمدنا بمعلومات قيمة عن كتلة الأجرام السماوية .

ملحوظة : لقد أثبت آدمز انتقال خطوط الطيف نحو الطرف الأحمر في سنة ١٩٢٤ بأرصاد قام بها على سيريس شديد الكثافة حيث تبلغ كثافته ثلاثين ضعفاً لكثافة الشمس .

(١) انظر البحث :

“Zur Prüfung der allgemeinen Relativitäts Theorie”

في مجلة

Naturwissenschaften 1919 No. 35, p. 250, “Julius Springer Berlin”.

الملحق الرابع

بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة

(تكملة الفصل الثاني والثلاثون)

لقد تقدمت معلوماتنا عن الفضاء العام (المشكلة الكونية) منذ صدور الطبعة الأولى من هذا الكتاب تقدماً هاماً يجدر ذكره حتى في عرض مبسط للموضوع .

لقد كانت نظرتي الأولى للموضوع تستند إلى فرضين :

١ — هناك متوسط كثافة للمادة في كل الفضاء وهو واحد في جميع أجزاء الفضاء يختلف مقداره عن الصفر .

٢ — اتساع الفضاء (نصف قطره) مستقل عن الزمن .

ولقد تبين أن هذين الفرضين منسجمان تبعاً لنظرية النسبية العامة ولكن بعد إضافة حد افتراضى إلى معادلات المجال . وهو حد لم تكن النظرية في حد ذاتها في احتياج إليه كما لم يكن يبدو من وجهة النظر النظرية طبيعياً (الحد الكونى فى معادلات المجال) .

أما الفرض الثانى فقد بدا لى أنه لا مفر منه فى ذلك الحين لانتى كنت أظن أن المرء يتعرض لفيض من المزايعم لا نهاية له لو اتمد عنه وأسقطه .

ومع ذلك فقد كان فريدمان الرياضى الروسى قد أوضح فى العشرينات من هذا القرن أن فرضاً آخر كان طبيعياً من زاوية نظرية بحتة . لقد أدرك أنه كان ممكناً الاحتفاظ بالفرض الأول دون إدخال الحد الكونى المتكلف

في معادلات المجال للجاذبية إذا كنا على استعداد للتخلي عن الفرض الثاني -
أى أن معادلات المجال الأصلية تقبل حلاً يتوقف فيه « نصف قطر العالم »
على الزمن (تمدد الفضاء) وبهذا المعنى يمكن القول مع فريدمان إن نظريته
تستوجب تمدد الفضاء .

لم تمض بعد ذلك سوى سنوات قلائل حتى استطاع هبل أثناء بحثه
خاص عن سدم نهر المجرة أن يوضح أن خطوط الطيف يظهر فيها انتقال.
نحو الأحمر يزداد بانتظام مع بعد هذه السدم ، ولا يمكن تفسير هذا الأمر
تبعاً لمعلوماتنا الراهنة إلا وفق مبدأ دوبلر أى باعتباره حركة تمدد بين
النجوم كما تستجبه - تبعاً لفريدمان - معادلات الجاذبية . وعلى ذلك
يعتبر اكتشاف هبل تأييداً للنظرية ولو إلى حد ما ولو أنه ظهر تبعاً لذلك.
أنه يثير مشكلة على وجه كبير من الغرابة .

إن تفسير انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر الذى اكتشفه هبل فى
سدم المجرة على أنه تمدد (وليس من السهل إنكار ذلك من الناحية النظرية)
يؤدى بنا إلى الاعتقاد بأن بداية هذا التمدد كانت منذ ١٠ سنة فقط بينما
يبدو تبعاً للفلك الفزيائى أن تكوين النجوم والمجموعات النجمية استغرق
وقتاً أطول من ذلك بكثير وليس هناك بارقة أمل تشير إلى الطريقة التى
سنتغلب بها على هذا النشوز الفريد .

وأود فوق ذلك أن أبدي ملحوظة بأن نظرية الفضاء المتعدد هى
والمدلولات التجريبية للفلك معاً لا تسمحان باتخاذ قرار حول طابع نهاية
أو لا نهاية الفضاء (ثلاثى الأبعاد) بينما يخضع الفرض « الاستاتيكي »
الأصلى للفضاء لإغلاق الفضاء (نهائيته) .

الملحق الخامس

النسبية ومشكلة الفضاء

من سمات فيزياء نيوتن البارزة أنه كان عليها أن تعطى كلا من الزمان والمكان وجوداً مستقلاً وحقيقياً مثل ما للمادة لأن فكرة العجلة تظهر في قانون نيوتن للحركة . ولكن العجلة لا يمكن أن تشير في هذه النظرية إلا إلى العجلة بالنسبة إلى المكان .

وهكذا لا مندوحة من اعتبار المكان بالنسبة إلى نيوتن كما لو كان ساكناً أو على الأقل ليس معجلاً حتى يمكن لنا أن نعتبر العجلة التي تظهر في قانون الحركة مقداراً له معنى ما . وينطبق هذا أيضاً على الزمن الذي يدخل طبعاً هو الآخر في تصور العجلة . ولقد شعر نيوتن نفسه وأكثَر معاصريه تحرراً بأ كبر الحرج من وجوب إعطاء كل من « المكان ، نفسه وكذلك حالته من الحركة واقعاً فيزيائياً . . ولكنه لم يكن هناك بد من ذلك في تلك الأيام لكي تحتفظ الميكانيكا بمعنى واضح .

إنه حقاً ضرب من المغالاة والتعنت أن نعطي المكان عموماً حقيقة فيزيائية خصوصاً الفضاء الفارغ ولهذا كان الفلاسفة منذ أقدم العصور يرفضون مراراً وتكراراً مثل هذا الفرض . خذ مثلاً ديكارت لقد كان يرى أن الفضاء صنو للامتداد والامتداد متعلق بالأجسام وعلى ذلك لا يمكن أن يكون هناك فضاء دون أجسام أى أنه ليس هناك فضاء فارغ ، وضعف هذه الحجة يمكن أصلاً فيما يلي : من المؤكد أن التصور امتداد

تولد أصلاً عن تجاربنا في إبعاد أو تقريب الأجسام الجاسئة من بعضها البعض ولكننا لا نستطيع استناداً إلى هذا أن نقطع أن تصور الامتداد لا تؤيده حالات أخرى لم تشترك بذاتها في تكوينه . ومثل هذا التوسيع في التصورات يمكن أن تبرره فائدته وجدواه في تفسير النتائج التجريبية .

من هذا نرى أن التأكيد بأن الامتداد وقف على الأجسام تأكيداً في حد ذاته لا أساس له من الصحة . ومع ذلك سوف نرى فيما بعد أن نظرية النسبية العامة تذهب تقريباً إلى ما ذهب إليه ديكارت . إن الدافع الذي حدا بديكارت إلى اتخاذ هذا الرأي الخلاب جداً هو شعوره بأنه لا يجوز أن نعطي جزافاً حقيقة لشيء مثل الفضاء لا يمكنه مكابדתه مباشرة ،^(١) .

إن الأصل السيكولوجي لفكرة الفضاء أو للزومها بعيد جداً عن الوضوح ولو أننا كثيراً ما نظن انسياقاً مع مألوف عاداتنا الفكرية أنه أمر واضح للعيان . لقد كان القدامى من علماء الهندسة يعالجون أشياء تصورية (الخط المستقيم والنقط والسطح) لا الفضاء بالذات . إنما حدث هذا بعد ذلك في الهندسة التحليلية . وفكرة الفضاء برغم هذا فكرة توحى بها إلهاء قوياً بعض التجارب البدائية البسيطة . تخيل أننا صنعنا صندوقاً . أننا نستطيع أن نرتب الأشياء بطريقة معينة داخل الصندوق حتى يمتلئ وإمكان مثل هذه الترتيبات أمر يتعلق بالشيء المادي الصندوق . إنه شيء ملازم للصندوق وإنه الفضاء الذي يحتويه الصندوق وهو شيء يختلف باختلاف الصناديق . شيء يعتقد طبعاً أنه مستقل عن كون الصندوق به أو ليس به إطلاقاً في أية لحظة أي أجسام وعندما لا يكون في الصندوق أشياء يبدو خضاًوه فارغاً ، .

وإلى هنا ارتبط تصورنا للفضاء بالصندوق ولكننا واضح مع ذلك أن

(١) يجب أن يؤخذ هذا التفسير على علاته .

إمكانات التخزين التي تكوّن فضاء الصندوق مستقلة تماماً عن سمك جوانبه .
أليس ممكناً أن نضغط هذه الجدران ونختزلها إلى أن تختفي من الوجود تماماً .
ومع ذلك يبقى الفضاء الذي كانت تضمه هذه الجدران ؟ لا مراء في أن عملية
التحديد هذه أمر طبيعي جداً وهكذا يبقى لدينا فكراً الفضاء — دون
ما حاجة إلى الصندوق — شيئاً واضحاً من تلقاء نفسه ، ولو أنه يبدو لنا وهماً
إذا ما غاب عنا أصل هذا التصور . وهذا يفسر لماذا كره ديكارت أن يعتبر
الفضاء شيئاً مستقلاً عن الأجسام المادية أعني شيئاً يمكن أن يوجد دون
المادة ^(١) (وفي نفس الوقت لا يمنع هذا ديكارت من اعتبار الفضاء تصوراً
أساسياً في هندسته التحليلية) ولقد جرد اكتشاف وجود فراغ في البارومتر
الزئبقي آخر أنصار ديكارت من كل أسلحتهم ومع ذلك فلا سبيل إلى إنكار
أنه حتى في هذا الطور البدائي علق كثير من عدم الرضا والارتباب بتصوّر
الفضاء أو بالفضاء على اعتباره شيئاً حقيقياً مستقلاً .

إن الطرق التي يمكن تبعاً لها حشد الأجسام في الفضاء (الصندوق)
هي في الحقيقة موضوع بحث الهندسة الإقليدية ثلاثية الأبعاد ولو أن بناءها
البديهي يخدعنا إذ يجعلنا ننسى أنها تتعلق بمواقف يمكن تحقيقها .

والآن إذا كان تصور الفضاء قد نشأ على هذه الصورة فإنه يكون أصلاً
في ضوء تجربة ملء الصندوق فضاءً محدوداً ، وعلى ذلك فهذا التحديد
لا يبدو أساسياً لأنه واضح أنه يمكن دائماً تصور صندوق أكبر يمكن أن

(١) حاول كانت التخلص من هذه الورطة فأنكر موضوعية الفضاء ،
ولكن هذا الأمر لا يمكن أخذه على محمل الجد فإمكانات التخزين في الفضاء
وداخل الصندوق وان كانت ملازمة له لها نفس الوجود الموضوعي الذي
للصندوق نفسه وللأجسام التي توضع فيه .

يحتوى الصندوق الأصغر وهذه الطريقة يبدو الفضاء كشيء غير محدود .

ولن أحاول هنا تقصى نشأة تصورى الفضاء ثلاثى الأبعاد وطبيعته الإقليدية راجعاً بهما إلى تجارب بدائية نسبياً إنما أفضل على ذلك أن أستعرض من زوايا أخرى دور تصور الفضاء فى تقدم ونمو الفكر الفزيائى .

إننا إذا وضعنا صندوقاً صغيراً (ص) ساكناً نسبياً داخل صندوق فارغ أكبر منه (ص') يصبح فضاء (ص) الفارغ جزءاً من فضاء (ص') الفارغ ويصبح نفس الفضاء الذى يحويهما ملكاً مشتركاً لهما . وإذا كان (ص) متحركاً بالنسبة إلى (ص') يتحقق الأمر ويميل المرء إلى اعتبار (ص) يتضمن دائماً نفس الفضاء ولكنه جزء متغير من فضاء (ص') وعند ذلك يصبح ضرورياً أن يختص كل صندوق بفضائه الخاص باعتباره غير محدود وأن نفرض أن هذين الفضاءين يتحركان بالنسبة إلى بعضهما البعض .

ويبدو لنا الفضاء قبل أن تتمثل تماماً هذا التعقيد كأنه وسط غير محدود أو وعاء تهيم فيه الأجسام المادية ساجدة . ولكن أصبح الآن لازماً علينا أن نتذكر أن هناك عدداً لا حصر له من الفضاءات التى تتحرك بالنسبة إلى بعضها البعض . وتصور الفضاء باعتباره شيء موجود موضوعياً ومستقلاً عن بقية الأشياء تصور يرجع إلى فكر ما قبل العلم بخلاف فكرة وجود عدد لانهائى من الفضاءات تتحرك بالنسبة إلى بعضها البعض . فهذه الفكرة الأخيرة تفرض نفسها منطقياً وإسكناً — وهذا أمر فى غاية الغرابة — لم تلعب أى دور هام حتى فى الفكر العلمى .

الآن وقد وضع أمامنا الأصل السيكولوجى لتصور المكان يحق لنا أن نتساءل : ما هو الأصل السيكولوجى لتصور الزمان . . . ؟ لا شك فى أن هذا التصور مرتبط بمسألة « التذكرة » كما هو مرتبط بالتمييز بين التجربة الحسية واستعادة ذكرى هذه التجربة . ومن المشكوك فيه فى حد ذاته أن

يكون التمييز بين التجارب الحسية واستعادة ذكرى هذه التجارب (أو التخيل
البسيط لها) شيء قد أعطى لنا سيكولوجياً مباشرة . فكل منا قد عانى الشك
فيما إذا كان قد كابد فعلاً إحساساً أو أنه حلم به فقط ومن المحتمل أن تكون
القدرة على التمييز بين هذين البديلين نابعة من القدرة الخلاقة للبشر .

إننا نربط بين التجربة و «الذكرى» ونعتبرها أسبق بالمقارنة «بالتجارب
الراهنه» ، وهذا مبدأ ترتيبى ذهنى لذكريات التجارب وإمكان تحقيق هذا
المبدأ يعطينا التصور الذاتى للزمن أى ذلك التصور الذى يرجع إلى ترتيب
تجارب الفرد .

ولكن ماذا نعى بجعل تصور الزمن موضوعياً ؟ دعنا نتأمل مثلاً
يوضح لنا ذلك . هب أن أحداً من الناس (انا) شاهد البرق وأنه فى
نفس الوقت شاهد سلوكاً للشخص ب يتم عن ارتباطه بنفس تجربته هو
« مشاهدة البرق » هكذا يشترك (انا) فى تجربة مشاهدة البرق ، وعلى ذلك
تتولد عند (انا) فكرة أن أشخاصاً آخرين يشتركون معه فى نفس التجربة
وهكذا تصبح مشاهدة البرق بعد أن كانت تجربة شخصية محضة ، تجربة للآخرين
(أو فى النهاية مجرد تجربة ممكنة الوجود) على هذا النحو نجد أن التفسير
« أنها تبرق » الذى وعيناه أول الأمر كتجربة شخصية قد أصبح الآن يفسر
أيضاً على أنه حادثة (موضوعية) وهى بهذا الشكل مثل «أور من لكل
الحوادث التى نعيشها عند الكلام عن «العالم الخارجى الحقيقى» .

لقد رأينا أننا مسوقون إلى أن نرتب تجاربنا ترتيباً زمنياً يجرى على هذا
النحو : إذا كان (ب) متأخراً بالنسبة إلى (ا) (ح) متأخراً بالنسبة
إلى (ب) يكون (خ) متأخراً بالنسبة إلى (ا) أيضاً (تتابع التجارب)
ولكن ماهو وضع الحوادث التى ربطناها مع التجارب بهذا الخصوص ...؟
يبدو واضحاً لأول وهلة أن هناك ترتيباً زمنياً للحوادث يتفق مع الترتيب
الزمنى للتجارب . لقد كان هذا هو المتبع بوجه عام على غير وعى إلى أن

ظهرت في الأفق شكوك خاصة^(١) . وحتى نصل إلى فكرة العالم الموضوعي . فلا نزال في حاجة إلى تصور بناء آخر . إن الحادثة ليست محددة الموقع بالنسبة إلى الزمن فقط بل وبالنسبة إلى المكان أيضاً .

لقد حاولنا فيما تقدم من السطور أن نصف كيف يمكن أن نربط سيكولوجياً بين تصورات : المكان والزمن والحادثة من ناحية والتجارب من الناحية الأخرى . وهذه التصورات من ناحية المنطق ابتكارات حرة للعقل البشري . إنها أدوات للفكر القصد منها ربط التجارب فيما بينها بصلة حتى يمكن أن نخصيها جيداً . ومحاولة إدراك الأصول التجريبية التي نبعت منها هذه التصورات الأساسية يجدر بها أن توضح لنا مدى تقيدها فعلاً بهذه التصورات ، وبهذا الشكل نصبح على بينة من مدى حريتنا التي يصعب علينا غالباً عند الاقتضاء استغلالها استغلالاً معقولاً .

ولا زال أمامنا اعتبار أساسي يجب إضافته إلى هذه الصورة وهو يتعلق بالأصل السيكولوجي لتصورات المكان - زمن - حادثة (وسنسميها بالاختصار شبه الفضائية على عكس التصورات من المحيط السيكولوجي) . فلقد ربطنا الفضاء مع تجارب تستخدم الصناديق وترتيب الأجسام المادية فيها . وهكذا يفترض هذا التكوين لهذه التصورات سبق وجود تصور الأجسام المادية (أي الصناديق) وكذلك يلعب بنفس الطريقة الأشخاص الذين كان لزاماً أن ندخلهم حتى يتكون التصور الموضوعي للزمن دور الأجسام المادية بهذا الخصوص ولذلك يبدو لي أن تكوين تصور الجسم المادي يجب أن يسبق تصوراتنا للمكان والزمان .

وكل هذه التصورات شبه الفضائية تتعلق فعلاً بعصر ما قبل العلم .

(١) فترتيب التجارب زمنياً تبعاً للوسائل السمعية مثلاً يمكن أن يختلف عن ترتيبها زمنياً تبعاً للوسائل البصرية بحيث يتعذر تطابق التتابع الزمني للحوادث مع التتابع الزمني للتجارب .

جنباً إلى جنب مع تصورات من المجال النفسى مثل الألم والهدف والغرض . . . إلخ ولكنه من سمات الفكر فى الفيزياء كما هو من خصائص الفكر فى العلم الطبيعى عامة أن يسعى من حيث المبدأ ألا يلجأ إلا إلى التصورات « شبه الفضائية » وحدها ، وأن يجتهد فى التعبير بوساطتها عن كل العلاقات على شكل قوانين . فعالم الفيزياء يجتهد أن يرد الألوان والاهتزازات إلى اهتزازات كما يجتهد عالم الفسيولوجى فى رد الفكر والألم إلى عمليات عصبية بشكل يستبعد العنصر النفسى بذاته (من حيث هو عنصر نفسى) من سلسلة الاتصال السببية للوجود . وهكذا لا يتدخل هذا العنصر فى أى مكان كحلقة مستقلة فى الارتباطات السببية . ولا شك أن هذا الوضع الذى يعتبر أن إمكان فهم كل العلاقات أمر مرهون باستعمال التصورات « شبه الفضائية » وحدها هو من حيث المبدأ ما يقصد التعبير عنه هذه الأيام « بالمادية » (طالما أن المادة قد فقدت دورها كتصور أساسى) .

ولكن ؛ لماذا كان علينا أن ندخرج الأفكار والتصورات الأساسية عن الفكر فى العلم الطبيعى من علماء سمائها عند جبال أولمب فى أحضان أفلاطون ومحاولين الكشف عن منبتها الأرضى . . . ؟ لعل ذلك كان أفضل وسيلة لتخليص هذه الأفكار وتحريرها من ربكة الطلسم الذى ضرب عليها . وهكذا تحقق حرية أكبر فى تكوين الأفكار والتصورات . والفضل الأكبر فى ذلك يرجع إلى خالدى الذكر دافيد هيوم وأرنست ماك فهما اللذان سبقا الجميع إلى هذا الفهم الناقد .

لقد أخذ العلم عن فكر ما قبل العلم التصورات فضاء ، زمن ، والجسم المادى (مع الحالة الخاصة الهامة « الجسم الجاسى » ، وحوورها وجعلها أكثر دقة فأبنت وكانت أولى ثمراتها الهامة هندسة إقليدس التى يجب أن لا تحجب صيغتها البديهية عن أعيننا منبتها التجريبى (إمكان إزاحة الأجسام عن بعضها البعض أو رصها فوق بعضها البعض) وعلى الأخص طبيعة الفضاء ثلاثية الأبعاد وطابعه الإقليدى فهذا كله أيضاً تجريبى الأصل . (يمكن ملؤه كله « بمكعبات ، متشابهة البناء) .

وتسمى تصور الفضاء كثيراً بعد أن اكتشفنا أنه ليس هناك أجسام
تامة الجسامة فكل الأجسام مرنة إن قليلاً أو كثيراً وتتغير أحجامها تبعاً
لتغير درجة حرارتها أيضاً . وعلى ذلك فالإنشاءات التي يجب وصف تطابقتها
الممكنة بوساطة هندسة إقليدس لا يمكن تمثيلها بعيداً عن التصورات
الفيزيائية . ولكن لما كانت الفيزياء آخر الأمر مضطرة إلى استخدام
الهندسة في إقامة تصوراتها فإن المضمون التجريبي للهندسة لا يمكن تقريره
أو اختباره إلا في إطار الفيزياء كلها .

ويجب أن لا يغيب عن بالنا في هذا الخصوص الفكرة الذرية (الذريات)
وتصورها عن القابلية للانقسام المحدد لأن الفضاءات ذات الامتداد دون
الذري لا يمكن قياسها . وتضطرنا الذريات أيضاً إلى التخلي من حيث المبدأ
عن فكرة السطوح المحددة تماماً واستاتيكية والتي تحد الأجسام الصلبة .
وليس هناك إذا راعينا الدقة قوانين دقيقة حتى على مستوى الحيز الكبير
للتشكيلات الممكنة للأجسام الجاسئة التي تتلامس .

وعلى الرغم من هذا لم يفكر أحد في التخلي عن تصور الفضاء لأنه
كان يبدو مما لا يمكن الاستغناء عنه في مجموع نظام العلم الطبيعي ، وكان
مرضياً جداً . ولقد كان ماك في القرن التاسع عشر هو الوحيد الذي فكر
جدياً في حذف تصور الفضاء ، عندما فكر في أن يستبدله بفكرة مجموع
المسافات اللحظية بين كل النقط المادية (لقد حاول ذلك ابتغاء الوصول إلى
فهم أكمل للقصور الذاتي) .

المجال

يلعب الفضاء والزمن في ميكانيكا نيوتن دوراً مزدوجاً، فهما أولاً يؤديان
دور الحامل أو الهيكل لما يحدث في الفيزياء والذي تسند إليه وصف الحوادث
عن طريق إحداثيات المكان والزمن . وتعتبر المادة من حيث المبدأ مكونة
من «نقط مادية» تكون حركاتها الحوادث الفيزيائية . وعندما تعتبر المادة

مستمرة البناء ، لا يكون ذلك إلا مؤقتاً في تلك الحالات التي لا نريد أو
لا نستطيع أن نصف البناء الحبيبي . وفي هذه الحالة تعامل الأجزاء الصغيرة
(عناصر الحجم) من المادة معاملة النقط المادية على الأقل طالما كنا نهتم
بمجرد الحركات لا بالوقائع التي ليس ممكناً الآن ، أو لا فائدة ترجى من
إسنادها للحركات (أى تغيرات درجة الحرارة أو العمليات الكيميائية)
أما الدور الثاني للفضاء والزمن فقد كان يتلخص في أنهما « مجموعة
قصورية » وكانت المجموعات القصورية تمتاز دائماً على كل مجموعات
الإسناد الممكن تصورها بأن قانون القصور الذاتي صحيح بالنسبة لها .

والنقطة الأساسية في كل هذا هي أن الحقيقة الفيزيائية — ونعتبرها مستقلة
عن الأشخاص الذين يكادونها — تبين أنها تتكون على الأقل من حيث المبدأ
من المكان والزمن من ناحية والنقط المادية دائمة الوجود من الناحية
الأخرى والتي تتحرك بالنسبة للزمن والفضاء . ويمكن التعبير بشكل عنيف
عن فكرة الوجود المستقل للزمن والمكان على هذا النحو . لو كان لازماً
أن تختفي المادة لبقى الزمن والمكان وحدهما (كنوع من المسرح للحوادث
الفيزيائية) .

ولقد جاء تذييل هذه العقبة نتيجة لتقدم كان يبدو لأول وهلة عديم
الصلة بمشكلة المكان — زمن . وأعني به ظهور « تصور المجال » وخصايته
الآخيرة هي أن يحل محل المبدأ محل فكرة الجسم (النقطة المادية) .
ولقد ظهر تصور المجال في هيكل الفزياء الكلاسيكية على أنه تصور مساعد
في الحالات التي عولجت فيها المادة باعتبارها متصلاً . مثال ذلك : عند
معالجة توصيل الحرارة في جسم جاسئ . توصف حالة الجسم بذكر درجة
الحرارة في كل نقطة من نقطه عند كل لحظة محددة . وهذا يعنى رياضياً
أن درجة الحرارة « تصور على أنها تعبير رياضي (دالة) لإحداثيات
المكان والزمن ز (مجال درجة الحرارة) ويمثل قانون توصيل الحرارة

على أنه علاقة عملية (معادلة تفاضلية) تضم كل الحالات الخاصة لتوصيل الحرارة . ودرجة الحرارة هنا مثال بسيط لتصور المجال في كمية (أو مركب كميات) تكون دالة للإحداثيات والزمن . وهناك مثال آخر هو وصف حركة السائل . ففي كل نقطة من نقطه توجد في أية لحظة سرعة . توصف كمية بمركباتها الثلاث بالنسبة إلى محاور مجموعة إحداثيات (متجه) ومركبات السرعة في نقطة ما هنا أيضاً (مركبات المجال) دوال للإحداثيات (س ، ص ، هـ ، الزمن ز) .

ومن مميزات المجالات التي ذكرناها أنها تحدث فقط داخل كتلة ذات وزن . وهي تستخدم فقط لوصف حالة ما لهذه المادة . وتمشياً مع التطور التاريخي لتصور المجال نجد أنه لا يمكن أن يوجد المجال حيث لا توجد المادة . ولكن ظهر في الربع الأول من القرن التاسع عشر أن ظواهر حركة الضوء والتداخل يمكن تفسيرها بوضوح مذهب باعتبار الضوء مجال موجي يشبه تماماً مجال الاهتزاز الميكانيكي في جسم جاسيء مرن . وهكذا نشأت ضرورة إدخال مجال يمكن أيضاً أن يوجد في « الفضاء الفارغ » ، في غياب المادة ذات الوزن .

ولقد أدت بنا هذه الحالة إلى موقف غاية في الإشكال . ذلك لأن تصور المجال في أول ظهوره كان — تمشياً مع نشأته — مقصوراً على وصف حالات في داخل الجسم ذي الوزن ، وكان هذا يبدو مؤكداً بقدر اقتناعنا بأن كل مجال يجب أن يعتبر حالة قابلة للتفسير الميكانيكي ، وكان هذا الأمر يفترض مقدماً وجود المادة ولهذا أصبحنا مضطرين حتى في الفضاء الذي اعتبرناه حتى الآن خالياً إلى افتراض وجود شكل من المادة في جميع أجزائه وسمى هذا الشكل الأثير .

ولقد كان تخلص تصور المجال من زعم ارتباطه بفكرة حامل ميكانيكي حدثاً من أهم الأحداث سيكولوجياً التي دفعت الفكر الفيزيائي إلى الأمام .

فقد اتضح خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر بوضوح متزايد مرتبط مع أبحاث فراداي وماكسويل أن التعبير عن العمليات الكهرومغناطيسية في حدود المجال أفضل كثيراً من التعبير عنها على أساس التصورات الميكانيكية للنقط المادية . ولقد نجح ماكسويل بتطبيق فكرة المجال في التنبؤ بوجود الأمواج الكهرومغناطيسية التي لم يكن تماناها الأساسي مع أمواج الضوء موضع شك نظراً لأن سرعة كليهما واحدة . وتبعاً لهذا ابتلعت من حيث المبدأ الكهرباء الديناميكية علم البصريات ، وكان الأثر السيكولوجي لهذا التقدم الهائل هو أن اكتسب تصور المجال تدريجياً استقلالاً أكبر من مواجهة الهيكل المكينى للفزياء الكلاسيكية .

ومع هذا فقد كان من المسلم به أول الأمر أن المجالات الكهرومغناطيسية يجب تفسيرها على اعتبارها حالات للأثير وحاول العلماء بكل حمة ونشاط تفسير هذه الحالات ميكانيكياً . ولكن بعد أن تعثرت هذه المحاولات وباءت بالفشل بصورة مستمرة أخذ العلم يقلع تدريجياً عن هذه المحاولات . ولو أن الاقتناع بأن المجالات الكهرومغناطيسية لا مناص من اعتبارها حالات للأثير ظل باقياً . وكان هذا هو الموقف حتى مطلع هذا القرن .

ولقد قامت في أعقاب نظرية الأثير هذه الأسئلة : كيف يسلك الأثير من وجه النظر الميكانيكية بالنسبة إلى الأجسام ذات الوزن ؟ هل يلعب دوراً في حركات الأجسام أم تظل أجزاءه في حالة سكون بالنسبة إلى بعضها البعض ؟ . ولقد أجريت تجارب قذرة للإجابة على هذه الأسئلة ولا بد لنا أن نذكر بهذا الخصوص الوقائع التالية المهمة : زوغان النجوم الثابتة تبعاً لحركة الأرض السنوية و «أثر دوبلر» أى تأثير الحركة النسبية للنجوم الثابتة على تردد الضوء الذى يصل إلينا منها بالمقارنة بالترددات المعروفة للإرسال . ولقد استطاع هـ . لورنتز تفسير جميع هذه الأمور والتجارب ما هذا واحدة هي تجربة ميكلسن - مورلى - على أساس أن الأثير

لا يشترك في حركة الأجسام ذات الوزن وأن أجزاءه لا تتحرك إطلاقاً بالنسبة إلى بعضها البعض. وهكذا ظهر الأثير كما لو كان تجسيدا للفضاء الساكن إطلاقاً . ولكن أبحاث لورنتز ذهبت إلى أبعد من ذلك فقد فسرت كل العمليات الكهرومغناطيسية والبصرية داخل المادة ذات الوزن والتي كانت معروفة في ذلك الحين على أساس أن تأثير الأجسام ذات الوزن على المجال الكهربائي — والعكس — راجع إلى مجرد أن الجسيمات التي تكون المادة تحمل شحنات كهربائية تشترك مع الجسيمات في الحركة . أما فيما يتعلق بتجربة ميكلسن — مورلي فقد أوضح لورنتز أن نتيجةها لا تتعارض على الأقل مع نظرية الأثير الساكن .

وعلى الرغم من هذه الانتصارات الرائعة لم تكن حالة النظرية مرضية تماماً للأسباب التالية . أن الميكانيكا الكلاسيكية — وليس هناك شك في أنها تتفق والواقع — كتقريب أول تعلمنا تكافؤ كل المجموعات القصورية أو « الفضاءات » القصورية لصياغة القوانين الطبيعية أي عدم تغير هذه القوانين عند الانتقال من مجموعة قصورية إلى أخرى . وتعلمنا « التجارب » الكهرومغناطيسية والبصرية نفس الشيء بدقة فائقة في حين أن أساس النظرية الكهرومغناطيسية يعلمنا أن مجموعة قصورية خاصة يجب أن تعطى الأفضلية وهي الأثير المضيء الساكن . وهذه النظرة التي انطوى عليها الأساس النظري كانت غير مرضية إلى أبعد الحدود ، فهل هناك تعديل لهذا الأساس يجعل — كما في الميكانيكا الكلاسيكية — تكافؤ المجموعات القصورية حقيقة واقعة (مبدأ النسبية الخاصة) . . . ؟

إن الجواب على هذا السؤال هو نظرية النسبية الخاصة ، وتحفظ من نظرية ماكسويل — لورنتز بفرض ثبوت سرعة انتقال الضوء في الفضاء الخالي . وحتى يكون هناك توافق تام بين هذا وبين تكافؤ المجموعات

القصورية (مبدأ النسبية الخاص) لا بد من التخلي عن فكرة الطابع المطلق للآنية . وبالإضافة إلى ذلك لا بد من تطبيق تحويلات لورنتز لإحداثيات المكان والزمن عند الانتقال من مجموعة قصورية إلى أخرى . إن كل مضمون النظرية النسبية الخاصة يتضمنه هذا الفرض : « جميع قوانين الطبيعة لا تتغير بالنسبة لتحويلات لورنتز » . وأهم ما في هذا القيد هو أنه يحدد قوانين الطبيعة الممكنة بصورة محددة واضحة للعالم .

والآن ما هو وضع نظرية النسبية الخاصة بالنسبة إلى مشكلة الفضاء ؟.. أولاً يجب أن نحذر الرأي القائل بأن رباعية أبعاد الحقيقة أدخلت حديثاً لأول مرة بوساطة هذه النظرية في الفيزياء فحتى في الفيزياء الكلاسيكية كانت الحادثة يحدد موقعها بأربعة أعداد: ثلاثة إحداثيات مكانية وإحداثي زمني . وعلى ذلك كان مجموع الحوادث الفيزيائية موسداً في متنوع مستمر رباعي الأبعاد ؛ ولكن هذا المتصل الرباعي الأبعاد ينقسم موضوعياً تبعاً للميكانيكا الكلاسيكية إلى زمن أحادي الأبعاد وإلى قطاعات مكانية ثلاثية الأبعاد . ويحتوي الفريق الأخير منها على الحوادث الآنية وهذا الانقسام واحد بالنسبة لكل المجموعات القصورية . وتزامن حادثتين معيتين بالنسبة إلى مجموعة قصورية واحدة يعني آنية هاتين الحادثتين بالنسبة إلى كل مجموعات الإسناد القصورية . وهذا هو المعنى الذي نقصده عندما نقول إن الزمن في الميكانيكا الكلاسيكية مطلق ولكن الزمن من وجهة نظر نظرية النسبية الخاصة ليس كذلك . صحيح أن جماع الحوادث الآنية مع حادثة مختارة قائم بالنسبة إلى مجموعة قصورية خاصة ولكنه لم يعد مستقلاً عن اختيار مجموعة الإسناد . إن المتصل الرباعي الأبعاد لم يعد الآن قابلاً للانقسام موضوعياً إلى قطاعات كل منها يحوى حوادث آنية . إن « الآن » تفقد بالنسبة للعالم الذي هو امتداد فضائي ، معناها الموضوعي ولأجل هذا يجب اعتبار

الزمن والمكان متصلين رباعى الأبعاد غير قابل للانقسام موضوعياً . إذا كنا نريد أن نعبر عن مضمون العلاقات الموضوعية دون تعسفات اتفاقية غير ضرورية .

ولما كانت نظرية النسبية الخاصة قد أوضحت التكافؤ الفيزيائى لكل المجموعات القصورية فقد أثبتت أن فرض الاثير الساكن لا محل له . وعلى ذلك أصبح ضرورياً أن تتخلى عن فكرة أن المجال الكهرومغناطيسى يجب أن يعتبر كمجرد حالة لحامل مادي . وهكذا دخل المجال من أوسع الأبواب وأصبح عنصراً لا يستغنى عنه في الوصف الفيزيائى له نفس الأهمية التي لتصور المادة في نظرية نيوتن .

لقد وجهنا جل اهتمامنا حتى الآن إلى الوقوف على أوجه التحوير والتعديل الذي أدخلته نظرية النسبية الخاصة على تصورى المكان والزمن . ودعنا الآن نلقى نظرة على العناصر التي نقلتها هذه النظرية عن الميكانيكا الكلاسيكية . هنا أيضاً لا تكون القوانين الطبيعية صحيحة إلا إذا اتخذنا مجموعة قصورية أساساً لوصف الزمن مكان . إن مبدأ القصور ومبدأ ثبوت سرعة الضوء صحيحان بالنسبة إلى مجموعة قصورية فقط ولا يمكن أن تكون قوانين المجال أيضاً صحيحة أو ذات معنى إلا بالنسبة إلى المجموعات القصورية فقط ، وهكذا كما في الميكانيكا الكلاسيكية نجد أن المكان هنا أيضاً مركبة مستقلة في تمثيل الحقيقة الفيزيائية فإذا تخيلنا زوال المادة والمجال بقى المكان القصورى أو على الأدق بقى هذا المكان والزمن الذي يتصل به . إن الفكرة السائدة عن البناء الرباعى الأبعاد (فضاء منكوفسكى) هو أنه حامل للمادة والمجال أما الفضاءات القصورية مع الأزمنة المتصلة بها فمجرد مجموعات إحدائية متميزة تتصل أو ترتبط معاً بوساطة تحويلات لورنتز الخطية . وحيث إنه لم يعد يوجد في هذا البناء رباعى الأبعاد أى قطاع يمثل « الآن » موضوعياً فإن تصورى الحدوث والضرورة لم يتوقفاً أو يلغيا

تماما ولكنهما تعقدا للغاية وعلى ذلك يبدو طبيعياً جداً أن نعتبر الحقيقة الفيزيائية وجوداً رباعى الأبعاد بدلاً من اعتبارها كما فعلنا حتى الآن تطوراً لوجود ثلاثى الأبعاد .

وهذا الفضاء الجامى رباعى الأبعاد فى نظرية النسبية الخاصة هو إلى حد ما نظير رباعى الأبعاد لآثير لورنتز الجامى ثلاثى الأبعاد وبالنسبة إلى هذه النظرية أيضاً نرى أن ما يلى صحيح : — إن وصف الحالات الفيزيائية يفترض أن المكان موجود من قبل وأن وجوده مستقل ، وهكذا نجد أنه حتى هذه النظرية لا تبدد ضيق ديكارت فيما يتعلق بالوجود المستقل أو الأولى ، « حقاً للفضاء الفارغ ، إن الهدف الحقيقى للمناقشة الأولية التى قدمناها هنا هو أن نوضح إلى أى مدى تغلبت نظرية النسبية العامة على هذه الشكوك .

تصور الفضاء فى نظرية النسبية العامة

لقد نشأت هذه النظرية أصلاً من محاولة لفهم تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية . والآن دعنا نبدأ من مجموعة قصورية S_1 فضاءها من وجهة النظر الفيزيائية فارغ أو بعبارة أخرى لا يواجه فى الجزء من الفضاء محل الاعتبار أية مادة (بالمعنى المعتاد) ولا أى مجال (بالمعنى المقصود فى نظرية النسبية الخاصة) وهب أن هناك بالنسبة إلى S_1 مجموعة إسناد أخرى S_2 تتحرك بعجلة منتظمة . وعلى ذلك لا تكون S_2 بهذا الشكل مجموعة قصورية فبالنسبة إلى S_2 سوف تتحرك كل كتلة اختبارية بعجلة مستقلة عن طبيعتها الفيزيائية والكيميائية وعلى ذلك يكون هناك بالنسبة إلى S_2 حالة هى على الأقل تقريب أوّل إلى مجال الجاذبية . وهكذا يكون التصور التالى متفقاً مع الوقائع المشاهدة : إن S_2 تكافئ أيضاً « مجموعة قصورية » ولكن يوجد بالنسبة لها مجال جاذبى (متجانس) (لا داعى

للتعرض لمصدره هنا) وهكذا تفقد المجموعة القصورية مغزاها الموضوعي عندما يتدخل المجال الجاذبي في هيكل الموضوع إذا سلمنا بأن «مبدأ التكافؤ» هذا يمكن أن يمتد الى أية حركة نسبية كانت لمجموعة الإسناد . إتنا إذا استطعنا أن نضع نظرية متماسكة على أساس هذه الأفكار فإنها ستتفق تلقائيا مع حقيقة تساوي الكتلة الجاذبية والكتلة القصورية وهي حقيقة تؤيدها التجربة بقوة .

ومن وجهة النظر رباعية الأبعاد يناظر الانتقال من S_1 الى S_2 تحويلا لا خطيا للإحداثيات الأربعة وهنا يواجهنا هذا السؤال : أى أنواع التحويلات الخطية هو المسموح به ؟ أو كيف يمكن تعميم تحويل لورنتز ؟.... وللإجابة على هذا السؤال يعتبر ما يلي حاسما :

إتنا نخص المجموعة القصورية في النظرية الأسبق بهذه الخاصية تقاس الفروق بين الإحداثيات بقضبان القياس الجاسئة الثابتة وتقاس الفروق في الزمن بالساعات الساكنة . وأول هذين الفرضين يكمله فرض آخر ينص على أن نظريات إقليدس عن الأطوال تنطبق على عمليات القياس بالقضبان الساكنة . ونستطيع أن نستدل بسهولة من نتائج نظرية النسبية الخاصة على أن هذا التفسير الفزيائي المباشر للإحداثيات يعتبر مفقودا بالنسبة الى مجموعة الإسناد S_2 التي تتحرك بعجلة بالنسبة الى المجموعة S_1 . ولكن إذا كان هذا هو الوضع فإن الإحداثيات الآن لا تعبر إلا عن نظام أو رتبة ماسة أو استمرار الفضاء ، وعلى ذلك أيضا تعبر عن الرتبة البعدية للفضاء ولكنها لا تعبر عن أية خاصية من خواصه القياسية . وهكذا نجد أنفسنا مساقين إلى أن نمد التحويلات الى تحويلات تحكمية مستمرة⁽¹⁾ وهذا يستوجب المبدأ العام للنسبية :

(1) قد تفى طريقة التعبير غير الدقيقة هذه بالغرض المطلوب هنا .

• يجب أن تكون القوانين الطبيعية — متعددة التغير مع التحويلات التحكيمية المستمرة للإحداثيات ، وهذا المطلب (مرتبطاً مع مطلب توفر أكبر بساطة منطقية ممكنة للقوانين) يحدد القوانين الطبيعية العامة محل الاعتبار بأقوى مما كان في مبدأ النسبية الخاصة .

وتقوم هذه السلسلة من الأفكار أساساً على اعتبار المجال تصوراً مستقلاً لأن الأحوال السائدة بالنسبة إلى S تفسر على أنها مجال جاذبي دون أن تثار مسألة وجود السكتل التي ينشأ عنها هذا المجال . وبفضل سلسلة الأفكار هذه يمكن أيضاً أن نقف على سبب كون قوانين المجال الجاذبي البحت أقوى من حيث الاتصال المباشر بفكرة النسبية العامة من قوانين المجالات التي من نوع عام (عندما يكون مثلاً هناك مجال كهرومغناطيسي) .

ولدينا سند قوى إذ نفرض أن فضاء منكوفسكي الخالي من المجال يمثل حالة خاصة ممكنة في القانون الطبيعي بل إنها في الحقيقة أبسط حالة خاصة يمكن تصورها . ويتميز مثل هذا الفضاء من حيث طابعه القياسي بأن $s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2$ هو مربع الفترة المكانية — مقيساً بوحدة القياس — بين نقطتين متقاربتين إلى ما لا نهاية من قطاع مستعرض لشبه فضاء ثلاثي الأبعاد (نظرية فيثاغورث) بينما s_4 هو الفترة الزمنية — مقيساً بقياس مناسب للزمن — بين حادثتين تشتركان في الإحداثيات (s_1, s_2, s_3) ومعنى هذا كله ببساطة هو أن مغزى موضوعياً قياسياً قد أعطى للكمية :

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 - s_4^2 \quad (1)$$

كما اتضح ذلك من قبل بمساعدة تحويلات لورنتز ويقابل هذا الأمر رياضياً شرط كون s^2 لا متغير بالنسبة إلى تحويلات لورنتز .

والآن إذا أخضعنا وفقاً للمبدأ العام للنسبية هذا الفضاء (انظر المعادلة (١)) لتحويل تحكيمي مستمر للإحداثيات عندئذ يعبر عن الكمية ذات المغزى الموضوعي ω في مجموعة الإحداثيات الجديدة بالعلاقة .

$$\omega = \omega' + \frac{1}{c} \frac{dx'}{dt} \quad (11)$$

التي يجب أن تتكامل إلى ما فوق الأسس m لكل التوافق. ١١ - ١٢ إلى ٤٤ وليست الحدود ω' في هذه الحالة ثوابتاً بل دوال للإحداثيات يحددها التحويل التحكيمي المختار . ومع ذلك فليست الحدود ω' دوالاً تحكيمية للإحداثيات الجديدة ولكنها مجرد دوال من نوع يجعل شكل المعادلة (١١) من الممكن إعادة تحويله إلى شكل المعادلة (١) بواسطة تحويل مستمر للإحداثيات الأربعة وحتى يمكن أن يحدث هذا يجب أن تحقق الدوال ω' معادلات عامة معينة . شرطية متعددة التغير اشتقها ريمان منذ أكثر من نصف قرن قبل مجيء نظرية النسبية (شرط ريمان) وتبعاً لمبدأ التكافؤ نصف المعادلة (١١) بشكل متعدى التغير عام مجال جاذبي من نوع خاص عند ما تحقق الدوال ω' شرط ريمان .

تبعاً لما تقدم نجد أن قانون المجال الجاذبي البحث يجب أن يتحقق عند ما يتحقق شرط ريمان ولكنه لا بد أن يكون أضعف وأقل تعقيداً من شرط ريمان . وهذه الطريقة يتحدد تماماً عملياً قانون المجال البحث . ولن تقدم هنا مبررات هذه النتيجة تفصيلاً (خطوات الوصول إليها) .

إننا الآن في وضع يسمح لنا أن نرى إلى أي مدى يحوّر الانتقال إلى نظرية النسبية العامة تصور الفضاء . لقد كان للفضاء (الزمكان) وفقاً للبيكانيكلا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة وجوداً مستقلاً عن المادة والمجال . وحتى يمكن أن نقوم بأى وصف لذلك الذى يملأ الفضاء ويعتمد على الإحداثيات يجب أن ننظر فوراً إلى الزمكان أو المجموعة القصورية بخواصها

القياسية على اعتباره موجوداً وإلا كان وصف « ذلك الذي يملأ الفضاء » لا معنى له^(١) . ولكن تبعا لنظرية النسبية العامة من الناحية الأخرى ليس للفضاء في مواجهة « ما يملأ الفضاء » الذي يعتمد على الإحداثيات وجوداً مستقلاً . وهكذا يمكن أن يوصف مجال جاذبي بحث في حدود حزم (كدوال للإحداثيات) بمجموعات الجاذبية . إننا إذا تصورنا أن المجال الجاذبي أي الدوال حزم قد أزيل فإنه لا يتبقى هناك فضاء من النوع (١) بل لا شيء على الإطلاق ولا « فضاء طوبولوجي » ، أيضا لأن الدوال حزم لا تصف المجال وحده فقط ولكنها تصف في نفس الوقت الخواص البنائية الطوبولوجية القياسية للمتغير . وفضاء من النوع (١) ليس من زاوية نظرية النسبية العامة فضاء بدون مجال بل حالة خاصة من فضاء حزم ليس لها في حد ذاتها معنى موضوعيا — لها قيم لا تعتمد على الإحداثيات — فليس هناك شيء من نوع الفضاء الخالي أي فضاء بدون مجال . أن الزمكان لا يدعى لنفسه وجوداً بذاته بل كجرد صفة بنائية للمجال .

وهكذا لم يكن ديكارت بعيداً عن الصواب حينما اعتقد أنه يجب استبعاد وجود فضاء فارغ . إن هذه الفكرة تبدو حقاً شديدة السخف طالما أننا لا نرى الحقيقة الفيزيائية إلا في الأجسام ذات الوزن . ولقد رأينا أننا لكي ندرك تماماً اللب الحقيقي لفكرة ديكارت وكنها استوجب الأمر أن نلجأ إلى فكرة المجال كممثل للحقيقة مرتبطة مع مبدأ النسبية العامة إذ ليس هناك مكان « خال من المجال » .

النظرية المعممة للجاذبية

وعلى ذلك أصبحت نظرية المجال الجاذبي البحث على أساس النظرية النسبية العامة في متناول اليد لأننا نستطيع الاطمئنان إلى أن فضاء

(١) إذا تخيلنا أن « ما يملأ الفضاء » (أي المجال) قد أزيل يتبقى لنا الفضاء المتري (القياسي) المتفق مع (١) الذي يمكن أن يحدد السلوك القصورى لجسم اختبار يوضع فيه .

منكوفسكى الخالى من المجال المتفق قياسياً مع (١) بحيث أن يحقق القوانين العامة للمجال . ومن هذه الحالة الخاصة نحصل على قانون الجاذبية عن طريق تعميم خال عملياً من التحكم والخطوات التالية للنظرية لا يحددها بصورة لا نزاع فيها المبدأ العام للنسبية . لقد تمت عدة محاولات في اتجاهات مختلفة خلال عشرات السنين القليلة الأخيرة وتشترك كل هذه المحاولات في اعتبار الحقيقة الفيزيائية مجالا بل وأكثر من ذلك مجالا هو تعميم للمجال الجاذبي يكون فيه قانون المجال تعميماً لقانون المجال الجاذبي البحث . وبعد تمحيص طويل أعتقد أنى قد اهديت الآن^(١) إلى الصيغة الطبيعية جداً لهذا التعميم ولكنى لم أستطع حتى الآن أن أقف على حقيقة ما إذا كان هذا القانون المعمم يقوى على الصمود أمام وقائع التجربة أم لا . ومسألة قانون المجال الخاص ثانوية بالنسبة للاعتبارات العامة السابقة فالسؤال الرئيسى الآن هو : هل يمكن أن تصل بنا نظرية مجال من النوع الذى تتطالع إليه هنا إلى الهدف على الإطلاق ؟ ونعنى بالهدف نظرية تصف وصفاً كاملاً الحقيقة الفيزيائية بما فيها الفضاء رباعى الأبعاد على اعتبارها مجالا . والجيل الحالى من علماء الفيزياء يميلون إلى الإجابة بالنفى على هذا السؤال حيث يعتقدون وفقاً للشكل الراهن لنظرية الكم أن حالة أية مجموعة فيزيائية ما لا يمكن أن تحدد مباشرة بل بطريقة غير مباشرة فقط بوساطة النص الإحصائى لنتائج القياس الممكن إجراؤها على المجموعة ويسود الاعتقاد بأن ازدواج الطبيعة الذى تؤكد التجارب (البناء الجسيمى والبناء الموجى) لا يمكن إدراك كنهه إلا بإضعاف تصور الحقيقة . وأعتقد أنه لا مبرر الآن مع معلوماتنا الراهنة أمثل هذا الإنكار النظرى البعيد الأثر وأنه يجدر بنا ألا نقلع عن متابعة المضى فى الطريق الذى مهدته أمامنا نظرية المجال النسبية حتى نهايته .

(١) يمكن تصوير التعميم كما يلى : ان المجال الجاذبى البحث حسب اشتقاقه من فضاء منكوفسكى الخالى له خاصية التماثل التى تعبر عنها : $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ (الخ) والمجال المعمم من نفس النوع ولكن بدون خاصية التماثل هذه واشتقاق قانون المجال مماثل تماماً لاشتقاق الحالة الخاصة للجذب البحث .

ترجمة المصطلحات،

A

α particles	جسيمات الفا	Arbitrary substitutions	البديلات التحكيمية
Absorption	امتصاص	Astronomical day	يوم فلكي
Abstraction	تجريد	Action & Reaction	فعل ورد فعل
Acceleration	عجلة	Apriori	بداهة . اولى . قبلي
Addition of velocities	تحصيل السرعات	Atomistics	ذريات
Aether drift	دفع الاثير	Axioms	بديهيات
Action at a distance	التاثير عن بعد		

B

β rays	اشعة بيتا	Biology	علم الحياة
Background	خلفية	Bounded space	فضاء محدود
Becoming	الضرورة	Bombardment of elements	قذف العناصر
Being	الكيان		

C

Cartisian	كارتيزي	Corpuscular structure	البناء الجسيمي
Cathode rays	اشعة المهبط	Cosmological term of field	الحد الكوني لمعادلات المجال
Classical	كلاسيكي	equations	معادلات الحالة المتعدية التغير
Continuum	متصل	Counter point	نقطة مقابلة
Contiguity	مماسية	Co-variant equations	معادلات الحالة المتعدية التغير
Co-variant	متغير متعدد	of condition	Curvature of light rays
Casuality	انسببية		انحناء اشعة الضوء
Celestial	سماوي		انحناء الفضاء
Concept	قصور		Curvilinear motion
Component	مركبة		حركة في خط منحنى
Co-ordinate	احداثي		
Conservation (law of)	قانون بقاء		
Centrifugal force	قوة الطرد المركزية		

D

Data	معطيات	Doppler principle	مبدأ دوبلر
Density	كثافة	Differentials	تفاضلات
Distance	مسافة	Deduction	
Difraction	حيود		استنباط (استدلال قياسي)
Displacement of spectral lines	ازاحة خطوط الطيف	Derivation	اشتقاق
		Deviation	انحراف
Double stars	النجوم المزدوجة	Duality	ازدواج (ثنائية)

E

Eclipse	كسوف	Elastic solid body	جسم صلب مرن
Electron	الكترن	Electrostatics	الكهرباء الاستاتيكية
Empiric	تجريبي وضعي	Elasticity	مرونة
Equivalence	تكافؤ	Electrodynamics	الكهرباء الديناميكية
Electromagnetic waves	الامواج الكهرو مغناطيسية	Extension	امتداد

F

Field	مجال	Frequency	تردد
Function	دالة	Finite	منته
Infinite	لا نهائي		

G

Geometry	الهندسة	Geometers	علماء الهندسة
Geometrical propositions	فضايا الهندسة	Gaussian co-ordinates	الاحداثيات الجاوسية
Geometry-Euclidian	الهندسة الاقليدية	Gravitational field	المجال الجاذبي
Geometry non Euclidian	الهندسة الاقليدية	Gravitational mass	الكتلة الجاذبية
	الهندسة الاقليدية	Potential of gravitational field	جهد المجال الجاذبي
Galilian transformations	اتحويل الجاليلي	Group density of stars	الكثافة الجماعية للنجوم

H

Happening	حدوث
Heuristic value of relativity	انقيمة الكاشفة للنسبية

I

Induction	الاستقراء	Inertial space	الفضاء القصوري
Intuition	حدس	Instantanion photograph	صورة فوتوغرافية لحظية
Ions	الأيونات	Instantanion snapshot	لقطة سريعة
Inertia	القصور		
Inertial mass	الكتلة القصورية		
Inertial system	المجموعة القصورية		

K

Kinetic energy	طاقة الحركة
----------------	-------------

L

Lattice	شبكة	Limiting case	حالة جدية
Linear	خطي	Limiting velocity	سرعة قصوى
Lengths	أطوال	Line of force	خطوط القوى
Light signal	إشارة ضوئية	Lorentz transformation	تحويل لورنتز
Light waves	أمواج الضوء		
Light stimulus	مؤثر ضوئي		

M

Manifold	متنوع	Metric	قياسي
Material point	النقطة المادية	Metrical properties	الخواص القياسية
Measuring rod	قضيب قياسي	Molluse	التقوطة الرخوة
Mechanistic	المكينى	Discrete structure of matter	البناء الحبيبي للمادة
Motion	انحرقة		
Materialism	المادية		

N

Neutrons	النيترونات	Newtonian	النيوتوني
Nuclear	نووى		

O

Objective	موضوعي	Ondulatory mechanics	الميكانيكا الموجية
Optics	بصريات		

P

Parabola	قطع مكافئ	particles	جسيمات
Perihilion	النبرهليون	Plane	مستوى
Proton	البروتون	Potential energy	طاقة الوضع
Position	موضع	Psychological	سيكولوجي
Physics	فيزياء		

Q

Quantum theory	نظرية الكم	Quasi Spherical universe	
Quantic properties	الخواص الكمية		انكون شبه الكروسي
Quasi Euclidian universe	انكون شبه الاقليدي	Quotient	خارج القسمة

R

Radiation	اشعاع	Relative motion	حركة نسبية
Reference system	مجموعة اسناد	Rotation	دوران
Relativitation	النسبية	Rigidity	ابجسائية
Rigid	جاسيء	Realism	الواقعية
Real	واقعي	Remanian condition	اشرط الريماني
Recollection	استعادة الذكرى (التذكر)		

S

Sense experience	تجربة حسية	System of reference	مجموعة اسناد
Sequence	متتابعة	Stipulation	تعويض
Size relations	علاقات الحجم	Spherical space	فضاء كروي
Space	مكان . فضاء	Spectral lines	خطوط الطيف
Space like concepts	التصورات شبه الفضائية	Structure	بناء
Subjective	ذاتي	Discrete structure	بناء حبيبي
Stellar universe	الكون النجمي	Significance	مغزى - دلالة
Spatial reparation	انفاصل المكاني	Statistical	احصائي
Space-time	متان . زمن	Statics — Statical	الاستاتيكا — استاتيكي
System of co-ordinates	مجموعة احداثيات	Symetry — Symetrical	تماثل — تماثلي

T

Term	حد	Topological space	
Trajectory	مسار	الفضاء الطوبولوجي	
Temperature	درجة الحرارة	Transelation movement	
	حساب المتدادات	حركة انتقال	
Tensor calculus		Transformations	تحويلات

U

Unbounded space	فضاء غير محدود	Uniform	منتظم
-----------------	----------------	---------	-------

V

Value	قيمة	Vacum	فراغ
Validity	صحة	Vector	مجه
Variable	متغير	Velocity	سرعة
Volume	حجم	Co-variant	متغير متعدد

W

Wave	موجة	Real & external world ,	
World	عالم	العالم الخارجي الحقيقي	

المحتويات

الجزء الاول

نظرية النسبية الخاصة

صفحة	
٧	الفصل الاول : المعنى الفيزيائي للقضايا الهندسية
١٠	الفصل الثاني : مجموعة الإحداثيات
١٤	الفصل الثالث : المكان والزمان في الميكانيكا الكلاسيكية
١٦	الفصل الرابع : مجموعة الإحداثيات الجاليلية
١٧	الفصل الخامس : مبدأ النسبية بالمعنى المقيد
	الفصل السادس : نظرية تركيب السرعات المستعملة في الميكانيكا الكلاسيكية
٢٠	
	الفصل السابع : التناقض الظاهري بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية
٢١	
٢٤	الفصل الثامن : فكرة الزمن في الفيزياء
٢٧	الفصل التاسع : نسبية الأنية
٣٠	الفصل العاشر : حول نسبية تصور المسافة
٣٢	الفصل الحادي عشر : تحويل لورنتز
٣٧	الفصل الثاني عشر : سلوك الساعات وقضبان القياس المتحركة
٤٠	الفصل الثالث عشر : نظرية محصلة السرعات (تجربة فيزوز)
٤٣	الفصل الرابع عشر : القيمة الكاشفة للنظرية النسبية
٤٥	الفصل الخامس عشر : النتائج العامة للنظرية
٥٠	الفصل السادس عشر : نظرية النسبية الخاصة والتجربة
٥٥	الفصل السابع عشر : فضاء منكوفسكي رباعي الأبعاد

الجزء الثاني

نظرية النسبية العامة

صفحة

- ٦١ الفصل الثامن عشر : نظريتنا النسبية الخاصة والعامة
- ٦٥ الفصل التاسع عشر : مجال الجاذبية
- الفصل العشرون : تسالي كتلتى القصور والجاذبية
- ٦٨ (كجة فى صف المبدأ العام للنسبية)
- الفصل الحادى والعشرون : ماهى أوجه النقص فى أسس الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة..؟
- ٧٢ الفصل الثانى والعشرون : استنتاجات قليلة من مبدأ النسبية العامة
- ٧٤ الفصل الثالث والعشرون : سلوك الساعات وقضبان القياس على مجموعة إسناد تدور
- ٧٨ الفصل الرابع والعشرون : المتصل الاقليدى واللاإقليدى
- ٨٢ الفصل الخامس والعشرون : إحداثيات جاوس
- ٨٥ الفصل السادس والعشرون : المتصل الزمان والمكان فى نظرية النسبية الخاصة على اعتبار أنه متصل إقليدى
- ٨٩ الفصل السابع والعشرون : المتصل الزمانى الخاص بالنظرية النسبية العامة ليس متصلا إقليديا
- ٩١ الفصل الثامن والعشرون : التعبير الدقيق عن مبدأ النسبية العام
- ٩٤ الفصل التاسع والعشرون : حل مشكلة الجاذبية على أساس المبدأ العام للنسبية
- ٩٧

الجزء الثالث

تأملات في الكون ككل

صفحة	
١٠٣	الفصل الثلاثون : الصعوبات الكونية في نظرية نيوتن
	الفصل الحادى والثلاثون : إمكان وجود كون منته ولكنّه
١٠٥	غير محدود
١١٠	الفصل الثانى والثلاثون : بناء الفضاء للنظرية النسبية العامة

الملاحق

١١٥	الملحق الأول : اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز
١٢١	الملحق الثانى : فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد
١٢٣	الملحق الثالث : الإثبات التجريبي لنظرية النسبية العامة
١٣٣	الملحق الرابع : بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة
١٣٥	الملحق الخامس : النسبية ومشكلة الفضاء
١٥٥	المصطلحات

المشروع القومي للترجمة

المشروع القومي للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التي حققتها مشروعات الترجمة التي سبقته في مصر والعالم العربي ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

- ١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .
- ٢- التوازن بين المعارف الإنسانية في المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .
- ٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .
- ٤- ترجمة الأصول المعرفية التي أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعي في الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التي تضع القارئ في القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .
- ٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .
- ٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١- اللغة العليا	جون كوين	أحمد درويش
٢- الوثنية والإسلام (ط١)	ك. مانهو بانينكار	أحمد فؤاد بليغ
٣- التراث المسروق	جورج جيمس	شوقي جلال
٤- كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كارييتكوف	أحمد الحضري
٥- ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
٦- اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	سعد مصلوح ووفاء كامل فايد
٧- العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	يوسف الأنطكى
٨- مشطو الحرائق	ماكس قريش	مصطفى ماهر
٩- التغيرات البيئية	أندرو. س. جوى	محمود محمد عاشور
١٠- خطاب الحكاية	جيرار چينيت	محمد معتمد وعبد الجليل الأزدي وعمر حلى
١١- مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	هناء عبد الفتاح
١٢- طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	أحمد محمود
١٣- بيانة الساميين	روبرتسن سميث	عبد الوهاب علوب
١٤- التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نويل	حسن المودن
١٥- الحركات الفنية	إنوارد لويس سميث	أشرف رفيق عفيفى
١٦- أثينة السوداء (ج١)	مارتن برنال	يأشرف أحمد عثمان
١٧- مختارات	فيليب لاركين	محمد مصطفى بدوى
١٨- الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	طلعت شاهين
١٩- الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	نعيم عطية
٢٠- قصة العلم	ج. ج. كراوثر	يمنى طريف الخولى وبدوى عبد الفتاح
٢١- خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ماجدة العنانى
٢٢- مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	سيد أحمد على الناصرى
٢٣- تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	سعيد توفيق
٢٤- ظلال المستقبل	باتريك بارنر	بكر عباس
٢٥- مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦- دين مصر العام	محمد حسين هيكل	أحمد محمد حسين هيكل
٢٧- التنوع البشرى الخلاق	مقالات	نخبة
٢٨- رسالة فى التسامح	جون لوك	منى أبو سنة
٢٩- الموت والوجود	جيمس ب. كارس	بدر الديب
٣٠- الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مانهو بانينكار	أحمد فؤاد بليغ
٣١- مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	عبد الستار الطوجى وعبد الوهاب علوب
٣٢- الانقراض	ديفيد روس	مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣- التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	أحمد فؤاد بليغ
٣٤- الرواية العربية	روجر آلن	حصه إبراهيم المنيف
٣٥- الأسطورة والحدائق	بول . ب . بيكسون	خليل كلفت
٣٦- نظريات السرد الحديث	والاس مارتن	حياة جاسم محمد
٣٧- واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	جمال عبد الرحيم

٢٨-	نقد الحداثة	آلن تورين	أنور مغيث
٢٩-	الإغريق والحسد	بيتر والكوت	منيرة كروان
٤٠-	قصائد حب	آن سكستون	محمد عيد إبراهيم
٤١-	ما بعد المركزية الأوروبية	بيتر جران	عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد
٤٢-	عالم ماك	بنجامين بارير	أحمد محمود
٤٣-	اللهب المزوج	أوكتايفو پاث	المهدى أخريف
٤٤-	بعد عدة أصياف	ألوس هكسلى	مارلين تانرس
٤٥-	التراث المغفور	روبرت ج نيا - جون ف أ فاين	أحمد محمود
٤٦-	عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	محمود السيد على
٤٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج١)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨-	حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ماهر جويجاتى
٤٩-	الإسلام فى البلقان	ه . ت . نوريس	عبد الوهاب علوب
٥٠-	ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	محمد برادة وعثمانى الملوذ ويوسف الأسكى
٥١-	مسار الرواية الإسبانية أمريكية	داريو بيانوبيا وخ . م بينياليستى	محمد أبو العطا
٥٢-	العلاج النفسى التدعى	ب. توفاليس وس . روجسيفيتز وروجر بيل	لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣-	الدراما والتعليم	أ . ف . ألتجتون	مرسى سعد الدين
٥٤-	المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	محسن مصيلحى
٥٥-	ما وراء العلم	جون بولكنجهوم	على يوسف على
٥٦-	الأعمال الشعرية الكاملة (ج١)	فديريكو غرسية لوركا	محمود على مكى
٥٧-	الأعمال الشعرية الكاملة (ج٢)	فديريكو غرسية لوركا	محمود السيد و ماهر البطوطى
٥٨-	مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	محمد أبو العطا
٥٩-	المحبرة (مسرحية)	كارلوس مونيت	السيد السيد سهيم
٦٠-	التصميم والشكل	جوهانز إيتين	صبرى محمد عبد الغنى
٦١-	موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميث	مراجعة وإشراف : محمد الجوهري
٦٢-	لذة النص	رولان بارت	محمد خير البقاعى .
٦٣-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤-	برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	رمسيس عوض .
٦٥-	فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	رمسيس عوض .
٦٦-	خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧-	مختارات	فرناندو بيسوا	المهدى أخريف
٦٨-	نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
٦٩-	للعلم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠-	ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج روبريجت	عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١-	السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	حسين محمود
٧٢-	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	فؤاد مجلى
٧٣-	نقد استجابة القارئ	چين . ب . توميكتز	حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤-	صلاح الدين والمعاليك فى مصر	ل . ا . سيمينوفا	حسن بيومى
٧٥-	فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	أحمد درويش
٧٦-	چاك لاكان وإغواء التظليل النفسى	مجموعة من الكتاب	عبد المقصود عبد الكريم

٧٧-	تاريخ النقد الأدبي الحديث (ج٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨-	العولة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	أحمد محمود ونورا أمين
٧٩-	شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	سعيد الغانمى وناصر حلاوى
٨٠-	بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	مكارم الغمرى
٨١-	الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	محمد طارق الشرقاوى
٨٢-	مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	محمود السيد على
٨٣-	مختارات	غوتفريد بن	خالد المعالى
٨٤-	موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	عبد الحميد شبيحة
٨٥-	منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	عبد الرازق بركات
٨٦-	طول الليل	جمال مير صادقى	أحمد فتحى يوسف شتا
٨٧-	نون والقلم	جلال آل أحمد	ماجدة العناني
٨٨-	الابتلاء بالتقرب	جلال آل أحمد	إبراهيم الدسوقي شتا
٨٩-	الطريق الثالث	أنتونى جينز	أحمد زايد ومحمد محيى الدين
٩٠-	وسم السيف	ميجل دى ثرياتس	محمد إبراهيم مبروك
٩١-	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	بارير الاسوستكا	محمد هناء عبد الفتاح
٩٢-	لسانيات ومضامين المسرح الإسباني المعاصر	كارلوس ميجيل	نادية جمال الدين
٩٣-	محدثات العولة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	عبد الوهاب علوب
٩٤-	الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	فوزية العشماوى
٩٥-	مختارات من المسرح الإسباني	أنطونيو بوويرو بايخو	سرى محمد عبد اللطيف
٩٦-	ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	إدوار الخراط
٩٧-	هوية فرنسا (مج١)	فرنان برودل	بشير السباعى
٩٨-	الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	نخبة	أشرف الصباغ
٩٩-	تاريخ السينما العالمية	ديفيد روينسون	إبراهيم قنديل
١٠٠-	مساءلة العولة	بول هيرست وجراهام تومبسون	إبراهيم فتحى
١٠١-	النص الروائى (تقنيات ومناهج)	بيرنار فاليت	رشيد بنحلو
١٠٢-	السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبى	عز الدين الكتانى الإبريسى
١٠٣-	قبر ابن عربى يليه آباء	عبد الوهاب المؤدب	محمد بنيس
١٠٤-	أوبرا ماهوجنى	برتولت بريشت	عبد الغفار مكوى
١٠٥-	مدخل إلى النص الجامع	جيرارچينيت	عبد العزيز شبيب
١٠٦-	الأدب الأندلسى	ماريا خيسوس روبييرامتى	أشرف على دعور
١٠٧-	صورة القذائى فى الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة	محمد عبد الله الجعيدى
١٠٨-	ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من النقاد	محمود على مكى
١٠٩-	حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	هاشم أحمد محمد
١١٠-	النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	منى قطان
١١١-	المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ريهام حسين إبراهيم
١١٢-	الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	إكرام يوسف
١١٣-	رأية التمرد	سادى پلانت	أحمد حسان
١١٤-	مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع	وول شوينكا	نسيم مجلى
١١٥-	غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وواف	سمية رمضان

١١٦-	امراة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	نهاد أحمد سالم
١١٧-	المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	منى إبراهيم وهالة كمال
١١٨-	التهضة النسائية فى مصر	بث بارون	لميس النقاش
١١٩-	النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنيل	بإشراف: روفى عباس
١٢٠-	الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	نخبة من المترجمين
١٢١-	الدليل الصغير عن الكاتبات العربيات	فاطمة موسى	محمد الجندى وإيزابيل كمال
١٢٢-	نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	منيرة كروان
١٢٣-	الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نيل ألكسندر وفناتولينا	أنور محمد إبراهيم
١٢٤-	الفجر الكاتب	جون جراى	أحمد فؤاد بليغ
١٢٥-	التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديفى	سمحة الخولى
١٢٦-	فعل القراءة	فولفانج إيسر	عبد الوهاب علوب
١٢٧-	إرهاب	صفاء فتحى	بشير السباعى
١٢٨-	الألب المقارن	سوزان باسنيت	أميرة حسن نويرة
١٢٩-	الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دواورس أسيس جاروت	محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠-	الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندز فرانك	شوقى جلال
١٣١-	مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	لويس بقطر
١٣٢-	ثقافة العمالة	مايك فينرستون	عبد الوهاب علوب
١٣٣-	الخوف من المرايا	طارق على	طلعت الشايب
١٣٤-	تشريع حضارة	بارى ج. كيمب	أحمد محمود
١٣٥-	المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ماهر شفيق فريد
١٣٦-	فلاحو الباشا	كينيث كوني	سحر توفيق
١٣٧-	مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	جوزيف مارى مواريه	كاميليا صبحى
١٣٨-	عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيفلينا تارونى	وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩-	پارسيفال	ريشارد فاچنر	مصطفى ماهر
١٤٠-	حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	أمل الجبورى
١٤١-	اثنى عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	نعيم عطية
١٤٢-	الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	حسن بيومى
١٤٣-	قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديريك لايدار	عدلى السمرى
١٤٤-	صاحبة اللوكاندة	كارلو جولونى	سلامة محمد سليمان
١٤٥-	موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	أحمد حسان
١٤٦-	الورقة الحمراء	ميجيل دى ليس	على عبدالرؤف البمبى
١٤٧-	خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	عبدالقفار مكاوى
١٤٨-	القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إميرت	على إبراهيم منوفى
١٤٩-	النظرية الشعرية عند إليوت وأنونيس	عاطف فضول	أسامة إسبر
١٥٠-	التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	منيرة كروان
١٥١-	هوية فرنسا (مج ٢ ، ج١)	فرنان برودل	بشير السباعى
١٥٢-	عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكتاب	محمد محمد الخطابى
١٥٣-	غرام الفراعنة	فيولين فاتويك	فاطمة عبدالله محمود
١٥٤-	مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	خليل كلفت

١٥٥-	الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	أحمد مرمى
١٥٦-	المدارس الجمالية الكبرى	جى أنبال وآلان وأوديت فيرمو	مى التلمسانى
١٥٧-	خسرو وشيرين	النظامى الكتوجى	عبدالعزیز بقوش
١٥٨-	هوية فرنسا (مج ٢ ، ج٢)	فرنان برودل	بشير السباعى
١٥٩-	الإيديولوجية	ديفيد هوكس	إبراهيم فتحى
١٦٠-	آلة الطبيعة	بول إيرليش	حسين بيومى
١٦١-	من المسرح الإشباني	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢-	تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسىوى	صلاح عبدالعزیز محبوب
١٦٣-	موسوعة علم الاجتماع	جوردين مارشال	ياشراق: محمد الجوهري
١٦٤-	شامبوليون (حياة من نور)	جان لاكوتير	نبيل سعد
١٦٥-	حكايات الثعلب	أ. ن أفانا سيفا	سهير المصانفة
١٦٦-	العلاقات بين المتنبيين والطمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليفمان	محمد محمود أبو غدير
١٦٧-	فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	شكرى محمد عياد
١٦٨-	دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	شكرى محمد عياد
١٦٩-	إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	شكرى محمد عياد
١٧٠-	الطريق	ميفيل دليبيس	بسام ياسين رشيد
١٧١-	وضع حد	قرانك بيجو	هدى حسين
١٧٢-	حجر الشمس	مختارات	محمد محمد الخطايبى
١٧٣-	معنى الجمال	واتر ت. ستيس	إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤-	صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	أحمد محمود
١٧٥-	التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦-	نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	جلال البنا
١٧٧-	أنطون تشيخوف	هنرى تروايا	حصه إبراهيم المنيف
١٧٨-	مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	محمد حمدى إبراهيم
١٧٩-	حكايات أيسوب	أيسوب	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠-	قصة جاويد	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
١٨١-	النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت ب. ليتش	محمد يحيى
١٨٢-	العنف والنبوة	وج. بيتس	ياسين طه حافظ
١٨٣-	جان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	فتحى العشرى
١٨٤-	القاهرة... حالة لا تنام	هانز إيندورفر	نسوقى سعيد
١٨٥-	أسفار العهد القديم	توماس تومسن	عبد الوهاب علوب
١٨٦-	معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنرود	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧-	الأرضة	بُزرج علوى	محمد علاء الدين منصور
١٨٨-	موت الألب	الفين كورنان	بدر الديب
١٨٩-	العمى والبصيرة	بول دى مان	سعيد القانمى
١٩٠-	محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	محسن سيد فرجاني
١٩١-	الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	مصطفى حجازى السيد
١٩٢-	سياحت نامه إبراهيم بك (ج١)	زين العابدين المراغى	محمد سلامة علاوى
١٩٣-	عامل المنجم	بيتر أبراهامز	محمد عبد الواحد محمد

١٩٤-	مختارات من النقد الأنجلو-أمريكي	مجموعة من النقد	ماهر شفيق فريد
١٩٥-	شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
١٩٦-	المهلة الأخيرة	فالتين راسبوتين	أشرف الصباغ
١٩٧-	الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	جلال السعيد الحفناوى
١٩٨-	الاتصال الجماهيرى	ادوين إمرى وآخرون	إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩-	تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لاندواى	جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠-	ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	فخزى لبيب
٢٠١-	الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٢٠٢-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج٤)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣-	الشعر والشاعرية	ألفاف حسين حالى	جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤-	تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شاراز	أحمد محمود هويدى
٢٠٥-	الجيئات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى - سفورزا	أحمد مستجير
٢٠٦-	الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	على يوسف على
٢٠٧-	ليل أفريقي	رامون خوتاسنديز	محمد أبو العطا
٢٠٨-	شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	محمد أحمد صالح
٢٠٩-	السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٠-	مثنويات حكيم سنائى	سنائى القرنوى	يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١-	فردينان دوسوسير	جوناثان كلار	محمود حمدي عبد الفنى
٢١٢-	قصص الأمير مرزيان	مرزيان بن رستم بن شروين	يوسف عبدالفتاح فرج
٢١٣-	مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر	ريمون فلاور	سيد أحمد على الناصرى
٢١٤-	قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جينز	محمد محمود محى الدين
٢١٥-	سياحت نامه إبراهيم بك (ج٢)	زين العابدين المراضى	محمود سلامة علاوى
٢١٦-	جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٧-	مسرحيتان طنيجيتان	ص. بيكيت	نانية البنهاوى
٢١٨-	لعبة الحجلة (رايولا)	خوليو كورتازان	على إبراهيم منوفى
٢١٩-	بقايا اليوم	كانزو ايشجورد	طلعت الشايب
٢٢٠-	الهيولية فى الكون	بارى باركر	على يوسف على
٢٢١-	شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	رفعت سلام
٢٢٢-	فرانز كافكا	رونالد جراى	نسيم مجلى
٢٢٣-	العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنز	السيد محمد نقادى
٢٢٤-	نمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	منى عبدالظاهر إبراهيم
٢٢٥-	حكاية غريق	جابريل جارتيا ماركث	السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦-	أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هريت لورانس	طاهر محمد على البريرى
٢٢٧-	المسرح الإسباني فى القرن السابع عشر	موسى مارديا ديف بوركى	السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨-	علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	مارى تيريز عبدالمنسيح وخالد حسن
٢٢٩-	مأزق البطل الوحيد	نورمان كيچان	أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠-	عن النباب والفتران والبشر	فرانسواز جاكوب	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١-	الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	جمال عبدالرحمن
٢٣٢-	ما بعد المعلومات	توم ستينز	مصطفى إبراهيم فهمى

٢٣٣-	فكرة الاضمحلال	أرثر هومان	طلعت الشايب
٢٣٤-	الإسلام في السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	قؤاد محمد عكود
٢٣٥-	ديوان شمس تبريزي (ج١)	مولانا جلال الدين الرومي	إبراهيم الدسوقي شتا
٢٣٦-	الولاية	ميشيل تود	أحمد الطيب
٢٣٧-	مصر أرض الوادي	رويين فيرين	عنايات حسين طلعت
٢٣٨-	العولة والتحرير	الانكتاد	ياسر محمد جادالله وعيسى منبولى أحمد
٢٣٩-	العربي في الأدب الإسرائيلي	جيلرافر - رايوخ	نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠-	الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامي حافظ	صلاح عبدالعزيز محجوب
٢٤١-	في انتظار البرابرة	ج . م كويتز	ابتسام عبدالله سعيد
٢٤٢-	سبعة أنماط من القموض	وليام إمبسون	صبرى محمد حسن عبدالنبي
٢٤٣-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١)	ليفي بروفنسال	على عبدالرؤف البمبي
٢٤٤-	الغليان	لاورا إسكييل	نادية جمال الدين محمد
٢٤٥-	نساء مقاتلات	إليزابيتا أنيس	توفيق على منصور
٢٤٦-	مختارات قصصية	جابريل جارثيا ماركث	على إبراهيم منوفى
٢٤٧-	الثقافة الجماهيرية والحدث في مصر	والتر إرمبريست	محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨-	حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	عبداللطيف عبدالحليم
٢٤٩-	لغة التمزق	دراجو شتامبوك	رفعت سلام
٢٥٠-	علم اجتماع العلوم	نومنيك فينيك	ماجدة محسن أباطة
٢٥١-	موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	جوردين مارشال	بإشراف: محمد الجوهري
٢٥٢-	رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	على بدران
٢٥٣-	تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوفا	حسن بيومى
٢٥٤-	الفلسفة	ديف روينسون وجوى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥-	أفلاطون	ديف روينسون وجوى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦-	ديكارت	ديف روينسون وكريس جرات	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧-	تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	محمود سيد أحمد
٢٥٨-	الفجر	سير أنجوس فريزر	عبادة كحيلة
٢٥٩-	مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	اقلام مختلفة	قاروجان كازانجيان
٢٦٠-	موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	جوردين مارشال	بإشراف: محمد الجوهري
٢٦١-	رحلة في فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢-	مدينة المعجزات	إبوارد مندوتا	محمد أبو العطا
٢٦٣-	الكشف عن حافة الزمن	جون جرين	على يوسف على
٢٦٤-	إبداعات شعرية مترجمة	هوراس وشلى	لويس عوض
٢٦٥-	روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصموئيل جونسون	لويس عوض
٢٦٦-	مدير المدرسة	جلال آل أحمد	عادل عبدالمنعم سويلم
٢٦٧-	فن الرواية	ميلان كونديرا	بدر الدين عروكي
٢٦٨-	ديوان شمس تبريزي (ج٢)	مولانا جلال الدين الرومي	إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦٩-	وسط الجزيرة العربية وشرقها (ج١)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧٠-	وسط الجزيرة العربية وشرقها (ج٢)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧١-	الحضارة الغربية	توماس سى. باترسون	شوقى جلال

٢٧٢-	الأبيرة الأثرية في مصر	س. س والترز	إبراهيم سلامة
٢٧٣-	الاستعمار والثورة في الشرق الأوسط	جوان آر. لوك	عتان الشهاوى
٢٧٤-	السيدة باربارا	روموالو جلاجوس	محمود على مكي
٢٧٥-	ت. س إليوت شاعراً وناقداً وكتّاباً مسرحياً	أقلام مختلفة	ماهر شفيق فريد
٢٧٦-	فنون السينما	فرانك جوتيران	عبد القادر التلمساني
٢٧٧-	الچينات: الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	أحمد فوزى
٢٧٨-	البدايات	إسحق عظيموف	ظريف عبدالله
٢٧٩-	الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	طلعت الشايب
٢٨٠-	من الأنب الهندي الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	سمير عبدالحميد
٢٨١-	الفريوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوى	جلال الحفناوى
٢٨٢-	طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وليبرت	سمير حنا صائق
٢٨٣-	السهل يحترق	خوان رولفو	على البعبى
٢٨٤-	هرقل مجنوناً	يوريبيدس	أحمد عثمان
٢٨٥-	رحلة الخواجة حسن نظامى	حسن نظامى	سمير عبد الحميد
٢٨٦-	سياحت نامه إبراهيم بك (ج٢)	زين العابدين المراغى	محمود سلامة علاوى
٢٨٧-	الثقافة والعولة والنظام العالمى	انتونى كنج	محمد يحيى وآخرون
٢٨٨-	الفن الروائى	ديفيد لودج	ماهر البطوطى
٢٨٩-	ديوان منجوهري الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	محمد نور الدين عبدالمنعم
٢٩٠-	علم اللغة والترجمة	جورج مونان	أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١-	المسرح الإسباني في القرن العشرين (ج١)	فرانشيسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٢-	المسرح الإسباني في القرن العشرين (ج٢)	فرانشيسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٣-	مقدمة للأدب العربى	روجر آلن	نخبة من المترجمين
٢٩٤-	فن الشعر	بوالو	رجاء ياقوت صالح
٢٩٥-	سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦-	مكبث	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٢٩٧-	فن النحو بين اليونانية والسريانية	ليونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوانى	ماجدة محمد أنور
٢٩٨-	مأساة العبيد	أبو بكر تقاوايلويه	مصطفى حجازى السيد
٢٩٩-	ثورة في التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠-	أسطورة بروميس في الأدب الإنجليزى والفرنسى (مج١)	لويس عوض	جمال الجزيرى وبهاء جاهين وإيزابيل كمال
٣٠١-	أسطورة بروميس في الأدب الإنجليزى والفرنسى (مج٢)	لويس عوض	جمال الجزيرى و محمد الجندي
٣٠٢-	قنچشمين	جون هيتون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣-	بوذا	جين هوب ويورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤-	ماركس	ريوس	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥-	الجلد	كروزيو مالابارته	صلاح عبد الصبور
٣٠٦-	الحماسة: النقد الكانطى للتاريخ	جان فرانسوا ليوتار	نبيل سعد
٣٠٧-	الشعور	ديفيد بابينو	محمود محمد أحمد
٣٠٨-	علم الوراثة	ستيف جونز	ممنوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩-	الذهن والمخ	أنجوس چيلاتى	جمال الجزيرى
٣١٠-	يونج	ناجى هيد	محيى الدين محمد حسن

٣١١-	مقال فى المنهج الفلسفى	كوانجود	فاطمة إسماعيل
٣١٢-	روح الشعب الأسود	وليم دى بويرز	أسعد حليم
٣١٣-	أمثال فلسطينية	خاير بيان	عبدالله الجعيدى
٣١٤-	الفن كعدم	جينس مينيك	هويدا السباعى
٣١٥-	جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو	كاميليا صبحى
٣١٦-	محاكمة سقراط	آ.ف. ستون	نسيم مجلى
٣١٧-	بلا غد	شير لايموفا- زنيكين	أشرف الصباغ
٣١٨-	الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	نخبة	أشرف الصباغ
٣١٩-	هنور نريدا	جايتير ياسييفاك وكريستوفر نوريس	حسام نايل
٣٢٠-	لمعة السراج فى حضرة التاج	مؤلف مجهول	محمد علاء الدين منصور
٣٢١-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج ١)	ليفى برو فنسال	نخبة من المترجمين
٣٢٢-	وجهات غربية حديثة فى تاريخ الفن	دبليو يوجين كلينباور	خالد مقلح حمزة
٣٢٣-	فن الساتورا	تراث يونانى قديم	هانم سليمان
٣٢٤-	اللعب بالنار	أشرف أسدى	محمود سلامة علاوى
٣٢٥-	عالم الآثار	فيليب بوسان	كريستين يوسف
٣٢٦-	المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	حسن صقر
٣٢٧-	مختارات شعرية مترجمة (ج ١)	نخبة	توفيق على منصور
٣٢٨-	يوسف وزليخا	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	عبد العزيز بقوش
٣٢٩-	رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	محمد عيد إبراهيم
٣٣٠-	كل شيء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	سامى صلاح
٣٣١-	عندما جاء السريدين	ستيفن جراى	سامية دياب
٣٣٢-	القصة القصيرة فى إسبانيا	نخبة	على إبراهيم منوفى
٣٣٣-	الإسلام فى بريطانيا	نييل مطر	بكر عباس
٣٣٤-	لقطات من المستقبل	أرثر س كلارك	مصطفى فهمى
٣٣٥-	عصر الشك	ناتالى ساروت	فتحي العشرى
٣٣٦-	متون الأهرام	نصوص قديمة	حسن صابر
٣٣٧-	فلسفة الولاء	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٣٣٨-	نظرات حائرة (وقصص أخرى من الهند)	نخبة	جلال السعيد الحفناوى
٣٣٩-	تاريخ الأدب فى إيران (ج ٢)	على أصغر حكمت	محمد علاء الدين منصور
٣٤٠-	اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربيروجلو	فخرى لبيب
٣٤١-	قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	حسن حلمى
٣٤٢-	سلامان وأيسال	نور الدين عبدالرحمن بن أحمد	عبد العزيز بقوش
٣٤٣-	العالم البرجوازى الزائل	نابليين جورديمر	سمير عبد ربه
٣٤٤-	الموت فى الشمس	بيتر بلانجوه	سمير عبد ربه
٣٤٥-	الركض خلف الزمن	بونه ندائى	يوسف عبد الفتاح فرج
٣٤٦-	سحر مصر	رشاد رشدى	جمال الجزيرى
٣٤٧-	الصبية الطائشون	جان كوكتو	بكر الطو
٣٤٨-	التصوفة الأولون فى الأدب التركى (ج ١)	محمد فؤاد كوبريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٣٤٩-	دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	آرثر والديرون وآخرون	أحمد عمر شاهين

٢٥٠-	بانوراما الحياة السياحية	أقلام مختلفة	عطية شحاتة
٢٥١-	مبادئ المنطق	جوزايا رويس	أحمد الانصارى
٢٥٢-	قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	نعيم عطية
٢٥٣-	الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة الهندسية)	باسيليو بابون مالدوناند	على إبراهيم منوفى
٢٥٤-	الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة النباتية)	باسيليو بابون مالدوناند	على إبراهيم منوفى
٢٥٥-	التيارات السياسية فى إيران	حجت مرتضى	محمود سلامة علاوى
٢٥٦-	الميراث المر	بول سالم	بدر الرفاعى
٢٥٧-	متون هيرميس	نصوص قديمة	عمر الفاروق عمر
٢٥٨-	أمثال الهوسا العامة	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٢٥٩-	محاورات بارمنيس	أفلاطون	حبيب الشارونى
٢٦٠-	أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ليلى الشريينى
٢٦١-	التصحّر: التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	عاطف معتمد وآمال شاور
٢٦٢-	تلميذ بابنيرج	هاينرش شبورال	سيد أحمد فتح الله
٢٦٣-	حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	صبرى محمد حسن
٢٦٤-	حادثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	نجلاء أبو عجاج
٢٦٥-	سالم باريس	شارل بوداير	محمد أحمد حمد
٢٦٦-	نساء يركضن مع الثنا	كلاريسا بنكولا	مصطفى محمود محمد
٢٦٧-	القلم الجرىء	نخبة	البراق عبدالهادى رضا
٢٦٨-	المصطلح السردى	جيرالد برنس	عابد خزندار
٢٦٩-	المرأة فى أنب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	فوزية العشماوى
٢٧٠-	الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليلا لويت	فاطمة عبدالله محمود
٢٧١-	المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (ج٢)	محمد فؤاد كوبرلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٢٧٢-	عاش الشباب	وانغ مينغ	وحيد السعيد عبدالحميد
٢٧٣-	كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	على إبراهيم منوفى
٢٧٤-	اليوم السادس	أندريه شديد	حمادة إبراهيم
٢٧٥-	الخلود	ميلان كونديرا	خالد أبو اليزيد
٢٧٦-	الغضب وأحلام السنين	نخبة	إنوار الخراط
٢٧٧-	تاريخ الأدب فى إيران (ج٤)	على أصغر حكمت	محمد علاء الدين منصور
٢٧٨-	المسافر	محمد إقبال	يوسف عبدالفتاح فرج
٢٧٩-	ملك فى الحديقة	سنيل باث	جمال عبدالرحمن
٢٨٠-	حديث عن الخسارة	جوتتر جراس	شيرين عبدالسلام
٢٨١-	أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	رانيا إبراهيم يوسف
٢٨٢-	تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	أحمد محمد نادى
٢٨٣-	هدية الحجاز	محمد إقبال	سمير عبدالحميد إبراهيم
٢٨٤-	القصص التى يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	إيزابيل كمال
٢٨٥-	مشتري العشق	محمد على بهزادراد	يوسف عبدالفتاح فرج
٢٨٦-	دفاعاً عن التاريخ الألبى النسوى	جانيت تود	ريهام حسين إبراهيم
٢٨٧-	أغنيات وسوناتات	چون دن	بهاء چاهين
٢٨٨-	مواظ سعدى الشيرازى	سعدى الشيرازى	محمد علاء الدين منصور

٣٨٩-	من الأدب الباكستاني المعاصر	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٩٠-	الأرشيقات والمدن الكبرى	نخبة	عثمان مصطفى عثمان
٣٩١-	الحافلة الليكبية	مايف بينشى	منى الدروى
٣٩٢-	مقامات ورسائل أندلسية	نخبة	عبداللطيف عبداللطيم
٣٩٣-	فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	زينب محمود الخضيرى
٣٩٤-	القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	هاشم أحمد محمد
٣٩٥-	آلام سياوش	إسماعيل فصيح	سليم حمدان
٣٩٦-	السافاك	تقى نجارى راد	محمود سلامة علاوى
٣٩٧-	نيتشه	لورانس جين	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٨-	سارتر	فيليب تودى	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٩-	كامى	ديفيد ميروفتس	إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠-	موهو	مشيانيل إنده	باهر الجوهري
٤٠١-	الرياضيات	زيانون ساربر	ممدوح عبد المنعم
٤٠٢-	هوكنج	ج. ب. ماك ايفوى	ممدوح عبدالمنعم
٤٠٣-	رية المطر والملابس تصنع الناس	توبور شتورم	عماد حسن بكر
٤٠٤-	تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ظبية خميس
٤٠٥-	إيزابيل	أنثريه جيد	حمادة إبراهيم
٤٠٦-	المستعربون الإسبان فى القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	جمال عبد الرحمن
٤٠٧-	الأدب الإسباني المعاصر بأقلام كتابه	أقلام مختلفة	طلعت شاهين
٤٠٨-	معجم تاريخ مصر	جوان فوتشركنج	عنان الشهاوى
٤٠٩-	انتصار السعادة	برتراند راسل	إلهامى عمارة
٤١٠-	خلاصة القرن	كارل بوير	الزواوى بغورة
٤١١-	همس من الماضى	جينيوفر أكرمان	أحمد مستجير
٤١٢-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج ٢)	ليفى بروفنسال	نخبة
٤١٣-	أغنيات المنفى	ناظم حكمت	محمد البخارى
٤١٤-	الجمهورية العالمية للأداب	ياسكال كازانوف	أمل الصبيان
٤١٥-	صورة كوكب	فريدريش دورنيمات	أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦-	مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	مصطفى بدوى
٤١٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (ج ٥)	رينيه ويليك	مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨-	سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	عبد الرحمن الشيخ
٤١٩-	العصر الذهبى للإسكندرية	جون مايو	نسيم مجلى
٤٢٠-	مكرو ميجاس	فولتير	الطيب بن رجب
٤٢١-	الولاء والقيادة	روى متحدة	أشرف محمد كيلانى
٤٢٢-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (ج ١)	نخبة	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣-	إسراءات الرجل الطيف	نخبة	وحيد النقاش
٤٢٤-	لوائح الحق ولوامع العشق	نور الدين عبدالرحمن الجامى	محمد علاء الدين منصور
٤٢٥-	من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	محمود سلامة علاوى
٤٢٦-	الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧-	بانديراس الطاغية	باى إنكلان	ثريا شلبى

٤٢٨-	الخزانة الخفية	محمد هوتك	محمد أمان صافى
٤٢٩-	هيجل	ليود سينسر وأندرزجى كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠-	كانط	كرستوفر وانت وأندرزجى كليموفسكى	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١-	فوكو	كريس هوروكس وزوران جفتيك	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢-	ماكياثلى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣-	جويس	ديفيد نوريس وكارل فلت	حمدي الجابري
٤٣٤-	الرومانسية	بونكان هيث وچودن بورهام	عصام حجازى
٤٣٥-	توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زيريرج	ناجى رشوان
٤٣٦-	تاريخ الفلسفة (مج ١)	فريدريك كويلستون	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧-	رحالة هندي في بلاد الشرق	شبلو التعماني	جلال السعيد الحفناوى
٤٣٨-	بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بييرس	عايدة سيف الدولة
٤٣٩-	موت المرابى	صدر الدين عيني	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠-	قواعد اللهجات العربية	كرستن بروستاد	محمد طارق الشرقاوى
٤٤١-	رب الأشياء الصغيرة	أرونداتى روى	قخرى لييب
٤٤٢-	حتشبسوت (المرأة الفرعونية)	فوزية أسعد	ماهر جويجاتى
٤٤٣-	اللغة العربية	كيس فرستينج	محمد طارق الشرقاوى
٤٤٤-	أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	صالح علمانى
٤٤٥-	حول وزن الشعر	پرويز ناتل خانلرى	محمد محمد يونس
٤٤٦-	التحالف الأسود	الكسندر كوكيرن وجيفرى سانت كلير	أحمد محمود
٤٤٧-	نظرية الكم	ج. پ. ماك إيفوى	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٨-	علم نفس التطور	ديلان إيفانز وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩-	الحركة النسائية	نخبة	جمال الجزيرى
٤٥٠-	ما بعد الحركة النسائية	صوفيا فوكا وريبيكا رايت	جمال الجزيرى
٤٥١-	الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن ويورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢-	لينين والثورة الروسية	ريتشارد إيجناترى وأوسكار زاريت	محبي الدين مزيد
٤٥٣-	القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤-	خمسون عاماً من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	سوزان خليل
٤٥٥-	تاريخ الفلسفة الحديثة (مج ٥)	فريدريك كويلستون	محمود سيد أحمد
٤٥٦-	لا تنسنى	مريم جعفرى	هویدا عزت محمد
٤٥٧-	النساء في الفكر السياسى الغربى	سوزان موالر أوكين	إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨-	الموريسكيون الأندلسيون	مرثيدس غارثيا أرينال	جمال عبد الرحمن
٤٥٩-	نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتتبرج	جلال البنا
٤٦٠-	الفاشية والنازية	ستوارت هود وليتزا جانستز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١-	لكأن	داريان ليدر وجوى جروفز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢-	طه حسين من الأزهر إلى السوريين	عبدالرشيد الصادق محمودى	عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣-	الدولة المارقة	ويليام بلوم	كمال السيد
٤٦٤-	ديمقراطية للثة	مايكل بارنتى	حصه إبراهيم المنيف
٤٦٥-	قصص اليهود	لويس جنزيرج	جمال الرفاعى
٤٦٦-	حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	فاطمة محمود

٤٦٧-	التفكير السياسى	ستيفين ديلاو	ربيع وهبة
٤٦٨-	روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٤٦٩-	جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	مجدى عبدالرازق
٤٧٠-	الأراضى والجودة البيئية	نخبة	محمد السيد الفنة
٤٧١-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (ج٢)	نخبة	عبد الله عبد الرزاق إبراهيم
٤٧٢-	دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثريانتس سايبيرا	سليمان العطار
٤٧٣-	دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثريانتس سايبيرا	سليمان العطار
٤٧٤-	الألب والنسوية	يام موريس	سهام عبدالسلام
٤٧٥-	صوت مصر: أم كلثوم	فرجينيا دانيلسون	عادل هلال عنانى
٤٧٦-	أرض الحبايب بعيدة: بيرم التونسي	ماريلين بوث	سحر توفيق
٤٧٧-	تاريخ الصين	هيلدا هوخام	أشرف كيلانى
٤٧٨-	الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج و لى شى تونج	عبد العزيز حمدى
٤٧٩-	المقهى (مسرحية صينية)	لاوشه	عبد العزيز حمدى
٤٨٠-	تساي ون جى (مسرحية صينية)	كو موروا	عبد العزيز حمدى
٤٨١-	عبادة النبى	روى متحدة	رضوان السيد
٤٨٢-	موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	فاطمة محمود
٤٨٣-	النسوية وما بعد النسوية	سارة چاميل	أحمد الشامى
٤٨٤-	جمالية التلقى	هانسن روبرت يابوس	رشيد بنحو
٤٨٥-	التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٦-	الذاكرة الحضارية	يان أسمن	عبدالحليم عبدالفتى رجب
٤٨٧-	الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد أبانى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٨-	الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٩-	هُسْرُل: الفلسفة علماً دقيقاً	هُسْرُل	محمود رجب
٤٩٠-	أسماء البيغاء	محمد قارى	عبد الوهاب علوب
٤٩١-	نصوص قصصية من روائع الألب الأفريقى	نخبة	سمير عبد ربه
٤٩٢-	محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	محمد رفعت عواد
٤٩٣-	خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	محمد صالح الضالع
٤٩٤-	كتاب الموتى (الخروج فى النهار)	نصوص مصرية قديمة	شريف الصيفى
٤٩٥-	اللوى	إيوارد تيفان	حسن عبد ربه المصرى
٤٩٦-	الحكم والسياسة فى أفريقيا (ج١)	إكوانو بانولى	نخبة
٤٩٧-	الطمانية والنوع والنولة فى الشرق الأوسط	ناحية العلى	مصطفى رياض
٤٩٨-	النساء والنوع فى الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريوز	أحمد على بدوى
٤٩٩-	تقاطعات: الأمة والمجتمع والجنس	نخبة	فيصل بن خضراء
٥٠٠-	فى طفولتى (دراسة فى السيرة الذاتية العربية)	تيتز روكى	طلعت الشايب
٥٠١-	تاريخ النساء فى الغرب (ج١)	أرثر جولد هامر	سحر فراج
٥٠٢-	أصوات بديلة	هدى الصدة	هالة كمال
٥٠٣-	مختارات من الشعر الفارسى الحديث	نخبة	محمد نور الدين عبدالمنعم
٥٠٤-	كتابات أساسية (ج١)	مارتن هاينجر	إسماعيل المصدق
٥٠٥-	كتابات أساسية (ج٢)	مارتن هاينجر	إسماعيل المصدق

٥٠٦-	ربما كان قديماً	آن تيلر	عبد الحميد فهمي الجمال
٥٠٧-	سيدة الماضي الجميل	بيتر شيفر	شوقي فهمي
٥٠٨-	المواوية بعد جلال الدين الرومي	عبد الباقي جلبتارلي	عبد الله أحمد إبراهيم
٥٠٩-	الفقر والإحسان في عهد سلاطين المماليك	أدم صبرة	قاسم عبده قاسم
٥١٠-	الأرملة الماكرة	كارلو جوادوني	عبد الرزاق عيد
٥١١-	كوكب مرقع	آن تيلر	عبد الحميد فهمي الجمال
٥١٢-	كتابة النقد السينمائي	تيموثي كوريغان	جمال عبد الناصر
٥١٣-	العلم الجسور	تيد أنتون	مصطفى إبراهيم فهمي
٥١٤-	مدخل إلى النظرية الأدبية	جوثان كوار	مصطفى بيومي عبد السلام
٥١٥-	من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى ماطي دوجلاس	فدوى ماطي دوجلاس
٥١٦-	إرادة الإنسان في شفاء الإيمان	أرنولد واشنطن وويونا باوندي	هبري محمد حسن
٥١٧-	نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم
٥١٨-	استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	هاشم أحمد محمد
٥١٩-	محاضرات في المثالية الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصاري
٥٢٠-	الولع بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	أمل الصبان
٥٢١-	قاموس تراجم مصر الحديثة	أرثر جولد سميث	عبد الوهاب بكر
٥٢٢-	إسبانيا في تاريخها	أميركو كاسترو	علي إبراهيم منوفي
٥٢٣-	الفن الطليطلي الإسلامي والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	علي إبراهيم منوفي
٥٢٤-	الملك لير	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوي
٥٢٥-	موسم صيد في بيروت وقصص أخرى	لنيس جونسون رزيفز	نادية رفعت
٥٢٦-	علم السياسة البيئية	ستيفن كروول ووليم رانكين	محيي الدين مزيد
٥٢٧-	كافكا	ليفيد زين ميروقتس وروبرت كرمب	جمال الجزيري
٥٢٨-	تروتسكي والماركسية	طارق علي وقل إيفانز	جمال الجزيري
٥٢٩-	بدائع العلامة إقبال في شعره الأودي	محمد إقبال	حازم محفوظ وحسين نجيب المصري
٥٣٠-	مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	عمر الفاروق عمر
٥٣١-	ما الذي حدث في «حدث» ١١ سبتمبر؟	جاك دريدا	صفاء فتحى
٥٣٢-	المقامر والمستشرق	هنري لورنس	بشير السباعي
٥٣٣-	تعلم اللغة الثانية	سوزان جاس	محمد الشرقاوي
٥٣٤-	الإسلاميون الجزائريون	سيفرين لوبا	حمادة إبراهيم
٥٣٥-	مخزن الأسرار	نظامي الكتجوي	عبد العزيز بقوش
٥٣٦-	الثقافات وقيم التقدم	صمويل هنتجتون	شوقي جلال
٥٣٧-	الحب والحرية	نخبة	عبد الغفار مكاوي
٥٣٨-	النفس والآخر في قصص يوسف الشاروني	كيت دانييلز	محمد الحبيدي
٥٣٩-	خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	محسن مصيلحي
٥٤٠-	توجهات بريطانية - شرقية	السير رونالد ستورس	رؤف عباس
٥٤١-	هي تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	مروة رزق
٥٤٢-	قصص مختارة من الألب اليوناني الحديث	نخبة	نعيم عطية
٥٤٣-	السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	وفاء عبدالقادر
٥٤٤-	ميلاني كلارين	نخبة	حمدي الجابري

٥٤٥-	يا له من مباح محموم	فرانسيس كريك	عزت عامر
٥٤٦-	ريموس	ت. ب. وايزمان	توفيق على منصور
٥٤٧-	بارت	فيليب ثودي وأن كورس	جمال الجزيري
٥٤٨-	علم الاجتماع	ريتشارد أوزيرن ويورن فان لون	حمدي الجابري
٥٤٩-	علم العلامات	بول كويلي وليتاجانز	جمال الجزيري
٥٥٠-	شكسبير	نيك جروم وييرو	حمدي الجابري
٥٥١-	الموسيقى والعولة	سايمون ماندي	سمحة الخولي
٥٥٢-	قصص مثالية	ميجيل دي ثريانتس	علي عبد الرعوف البمبي
٥٥٣-	مدخل للشعر الفرنسي الحديث والمعاصر	دانيال لوفرس	رجاء ياقوت
٥٥٤-	مصر في عهد محمد علي	عفاف لطفى السيد مارسوه	عبدالسميع عمر زين الدين
٥٥٥-	الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادي والعشرين	أناتولي أوتكين	أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالي
٥٥٦-	جان بويرار	كريس هوروكس وزوران جيفتك	حمدي الجابري
٥٥٧-	الماركيز دي ساد	ستوارت هود وجراهام كرولي	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٨-	الدراسات الثقافية	زيوبين ساردارويورين فان لون	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٩-	الماس الزائف	تشا تشاجي	عبدالحى أحمد سالم
٥٦٠-	صلصلة الجرس	نخبة	جلال السعيد الحفناوى
٥٦١-	جناح جبريل	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦٢-	بلايين وبلايين	كارل ساجان	عزت عامر
٥٦٣-	ورود الخريف	خاثينتو بينابينتتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٤-	عش الغريب	خاثينتو بينابينتتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٥-	الشرق الأوسط المعاصر	دييورا . ج. جيرنر	أحمد عبدالحميد أحمد
٥٦٦-	تاريخ أوروبا في العصور الوسطى	موريس بيشوب	علي السيد علي
٥٦٧-	الوطن المفتصب	مايكل رايس	إبراهيم سلامة إبراهيم
٥٦٨-	الأصولى فى الرواية	عبد السلام حيدر	عبد السلام حيدر
٥٦٩-	موقع الثقافة	هومي. ك. بابا	ثائر بيب
٥٧٠-	دول الخليج الفارسي	سير روبرت هاي	يوسف الشارونى
٥٧١-	تاريخ النقد الإسباني المعاصر	إيميليا دي ثوليتا	السيد عبد الظاهر
٥٧٢-	الطب فى زمن الفراغة	برونو أليوا	كمال السيد
٥٧٣-	فرويد	ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتى	جمال الجزيري
٥٧٤-	مصر القديمة فى عيون الإيرانيين	حسن بيرنيا	علاء الدين عبد العزيز السباعى
٥٧٥-	الاقتصاد السياسى للعولة	نجير وونز	أحمد محمود
٥٧٦-	فكر ثريانتس	أمريكو كاسترو	ناهد العشرى محمد
٥٧٧-	مغامرات بينوكيو	كارلو كواودى	محمد قدرى عمارة
٥٧٨-	الجماليات عند كيتس وهنت	أيومى ميزوكوشى	محمد إبراهيم وعصام عبد الرعوف
٥٧٩-	تشومسكى	جون ماهر وچودى جرونز	محيى الدين مزيد
٥٨٠-	دائرة المعارف الولى (ج١)	جون فينز وبول سيترجز	محمد فتحى عبدالهادى
٥٨١-	الحقلى يموتون	ماريو بوزو	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٢-	مرايا الذات	هوشتك كلشيرى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٣-	الجيران	أحمد محمود	سليم عبد الأمير حمدان

٥٨٤-	سفر	محمود نوات آبادى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٥-	الأمير احتجاج	هوشنك كلشيري	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٦-	السينما العربية والأفريقية	ليزييث مالكموس وروى أرمن	سهام عبد السلام
٥٨٧-	تاريخ تطور الفكر الصينى	نخبة	عبدالعزیز حمدى
٥٨٨-	أمنحوتب الثالث	أنيس كابرول	ماهر جويجاتى
٥٨٩-	تمبكت العجبية	فيلكس دييواه	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٥٩٠-	أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية	نخبة	محمود مهدى عبدالله
٥٩١-	الشاعر والمفكر	هوراتيوس	على عبدالقواب على وصلاح رمضان السيد
٥٩٢-	الثورة المصرية	محمد صبرى السوربونى	مجدى عبدالحافظ وعلى كورخان
٥٩٣-	قصائد ساحرة	بول فاليري	بكر الحلو
٥٩٤-	القلب السمين	سوزانا تامارو	أمانى فوزى
٥٩٥-	الحكم والسياسة فى أفريقيا (ج٢)	إكوانو بانولى	نخبة
٥٩٦-	الصحة العقلية فى العالم	روبرت نيجارليه وآخرون	إيهاب عبدالرحيم محمد
٥٩٧-	مسلمو غرناطة	خوليو كاروباروخا	جمال عبدالرحمن
٥٩٨-	مصر وكنعان وإسرائيل	دونالد ريدفورد	بيومى على قنديل
٥٩٩-	فلسفة الشرق	هرداد مهريز	محمود سلامة علاوى
٦٠٠-	الإسلام فى التاريخ	برنارد لويس	منحت طه
٦٠١-	النسوية والمواطنة	ريان فوت	أيمن بكر وسمر الشيشكلي
٦٠٢-	ليوتارنحو فلسفة ما بعد حداثة	جيمس وايامز	إيمان عبدالعزيز
٦٠٣-	النقد الثقافى	آرثر آيزنبرجر	وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسى
٦٠٤-	الكوارث الطبيعية (ج١)	باتريك ل. آبوت	توفيق على منصور
٦٠٥-	مخاطر كوكبنا المضطرب	إرنست زيبروسكى الصغير	مصطفى إبراهيم فهمى
٦٠٦-	قصة البردى اليونانى فى مصر	ريتشارد هاريس	محمود إبراهيم السعدنى
٦٠٧-	قلب الجزيرة العربية (ج١)	هارى سينت فيلبى	صبرى محمد حسن
٦٠٨-	قلب الجزيرة العربية (ج٢)	هارى سينت فيلبى	صبرى محمد حسن
٦٠٩-	الانتخاب الثقافى	أجنر فوج	شوقى جلال
٦١٠-	العمارة المدججة	رفائيل لويث جوثمان	على إبراهيم منوفى
٦١١-	النقد والأبديولوجية	تيرى إيجلتون	فخرى صالح
٦١٢-	رسالة النفسية	فضل الله بن حامد الحسينى	محمد محمد يونس
٦١٣-	السياحة والسياسة	كولن مايكل هول	محمد فريد حجاب
٦١٤-	بيت الأقصر الكبير	فوزية أسعد	منى قطان
٦١٥-	عرض الأحداث التى وقعت فى بغداد	أليس بسيرينى	محمد رفعت عواد
٦١٦-	أساطير بيضاء	روبرت يانج	أحمد محمود
٦١٧-	الفولكلور والبحر	هوراس بيك	أحمد محمود
٦١٨-	نحو مفهوم لاقتصاديات الصحة	تشارلز فيلبس	جلال البنا
٦١٩-	مفاتيح أورشليم القدس	ريمون استانبولى	عايدة الباجورى
٦٢٠-	السلام الصليبي	توماش ماستناك	بشير السباعى
٦٢١-	التوبة المعبر الحضارى	وليم. ي. أنمز	فؤاد عكود
٦٢٢-	أشعار من عالم اسمه الصين	أى تشينغ	أمير نبيه وعبدالرحمن حجازى

٦٢٣-	نواير جحا الإيراني	سعيد قانعى	يوسف عبدالفتاح
٦٢٤-	أزمة العالم الحديث	رينيه جينو	عمر الفاروق
٦٢٥-	الجرح السرى	جان جينيه	محمد برادة
٦٢٦-	مختارات شعرية مترجمة (ج٢)	نخبة	توفيق على منصور
٦٢٧-	حكايات إيرانية	نخبة	عبدالوهاب علوب
٦٢٨-	أصل الأنواع	تشارلس داروين	مجدى محمود المليجى
٦٢٩-	قرن آخر من الهيمنة الأمريكية	نيقولاى جويات	عزة الخميسى
٦٣٠-	سيرتى الذاتية	أحمد بللو	صبرى محمد حسن
٦٣١-	مختارات من الشعر الأفريقى المعاصر	نخبة	ياشراق: حسن طلب
٦٣٢-	المسلمون واليهود فى مملكة فالنسيا	دواورس برامون	رانيا محمد
٦٣٣-	الحب وفنونه	نخبة	حمادة إبراهيم
٦٣٤-	مكتبة الإسكندرية	روى ماكرويد وإسماعيل سراج الدين	مصطفى البهنساوى
٦٣٥-	التثبيث والتكيف فى مصر	جودة عبد الخالق	سمير كريم
٦٣٦-	حج يواندة	جناب شهاب الدين	سامية محمد جلال
٦٣٧-	مصر الخبيوية	ف. روبرت هنتز	بدر الرفاعى
٦٣٨-	الديمقراطية والشعر	روبرت بن ورين	فؤاد عبد المطلب
٦٣٩-	فندق الأرق	تشارلز سيميك	أحمد شافعى
٦٤٠-	الكسياد	الأميرة أناكومنينا	حسن حبشى
٦٤١-	برتراند رسل (مختارات)	برتراند رسل	محمد قدرى عمارة
٦٤٢-	داروين والتطور	جوناثان ميلر وبورين فان لون	ممدوح عبد المنعم
٦٤٣-	سفرنامه حجاز	عبد الماجد الديرابانى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٦٤٤-	العلوم عند المسلمين	هوارد دستيرنر	فتح الله الشيخ
٦٤٥-	السياسة الخارجية الأمريكية ومصلحتها الداخلية	تشارلز كجلى وبوجين ويتكوف	عبد الوهاب علوب
٦٤٦-	قصة الثورة الإيرانية	سپهر نبيج	عبد الوهاب علوب
٦٤٧-	رسائل من مصر	جون نينيه	فتحى العشرى
٦٤٨-	بورخيس	بياتريث سارلو	خليل كلفت
٦٤٩-	الخوف وقصص خرافية أخرى	نخبة	سحر يوسف
٦٥٠-	الدولة والسلطة والسياسة فى الشرق الأوسط	روجر أوين	عبد الوهاب علوب
٦٥١-	بيليسبس الذى لا نعرفه	وثائق قديمة	أمل الصبان
٦٥٢-	آلهة مصر القديمة	كلود ترونكر	حسن نصر الدين
٦٥٣-	مدرسة الطفافة	إيريش كستتر	سمير جريس
٦٥٤-	أساطير شعبية من أوزبكستان (ج١)	نصوص قديمة	عبد الرحمن الخميسى
٦٥٥-	أساطير وآلهة	إيزابيل فرانكو	حليم طوسون ومحمود ماهر طه
٦٥٦-	خبز الشعب والأرض الحمراء	ألفونسو ماسترى	ممدوح البستاوى
٦٥٧-	محاكم التفتيش والموريسكيون	مرثيديس غارثيا- أوفال	خالد عباس
٦٥٨-	حوارات مع خوان رامون خيمينيث	خوان رامون خيمينيث	صبرى التهامى
٦٥٩-	قصائد من إسبانيا وأمريكا اللاتينية	نخبة	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٦٠-	نافذة على أحدث العلوم	ريتشارد فايفيلد	هاشم أحمد محمد
٦٦١-	روائع أندلسية إسلامية	نخبة	صبرى التهامى

٦٦٢-	رحلة إلى الجنور	داسو سالدنيار	صبرى التهامى
٦٦٣-	امراة عابية	ليوسيل كليفتون	أحمد شافعى
٦٦٤-	الرجل على الشاشة	ستيفن كوهان - إنا راي هارك	عصام زكريا
٦٦٥-	عوالم أخرى	بول دافيز	هاشم أحمد محمد
٦٦٦-	تطور الصورة الشعرية عند شكسبير	وولفجانج اتش كلين	منحت الجيار
٦٦٧-	الأزمة القادمة لعلم الاجتماع الغربى	ألثن جولندر	على ليلة
٦٦٨-	ثقافات العولة	فريدريك چيمسون - ماساو ميوشى	ليلى الجبالى
٦٦٩-	ثلاث مسرحيات	وول شوينكا	نسيم مجلى
٦٧٠-	أشعار جوستاف أدولفو	جوستاف أدولفو	ماهر البطوطى
٦٧١-	قل لى كم مضى على رحيل القطار؟	جيمس بولدوين	على عبدالأمير صالح
٦٧٢-	مختارات قصائد فرنسية للأطفال	نخبة	إبتهال سالم
٦٧٣-	ضرب الكليم	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٦٧٤-	ديوان الإمام الخمينى	آية الله العظمى الخمينى	محمد علاء الدين منصور
٦٧٥-	أثينا السوداء (ج٢، ج١)	مارتن برنال	ياشراف: محمود إبراهيم السعدنى
٦٧٦-	أثينا السوداء (ج٢، ج١)	مارتن برنال	ياشراف: محمود إبراهيم السعدنى
٦٧٧-	تاريخ الأدب فى إيران (ج١، ج٢)	إدوارد جرانفيل براون	أحمد كمال الدين حلمى
٦٧٨-	تاريخ الأدب فى إيران (ج٢، ج١)	إدوارد جرانفيل براون	أحمد كمال الدين حلمى
٦٧٩-	مختارات شعرية مترجمة (ج٢)	ويليام شكسبير	توفيق على منصور
٦٨٠-	سنوات الطفولة	وول سوينكا	سمير عبد ربه
٦٨١-	هل يوجد نص فى هذا الفصل؟	ستاتلى فش	أحمد الشيمى
٦٨٢-	نجوم حظر التجول الجديد	بن أوكرى	صبرى محمد حسن
٦٨٣-	سكين واحد لكل رجل	تى. م. ألوكو	صبرى محمد حسن
٦٨٤-	الأعمال القصصية (ج١)	أوراثيو كيروجا	رزق أحمد بهنسى
٦٨٥-	الأعمال القصصية (ج٢)	أوراثيو كيروجا	رزق أحمد بهنسى
٦٨٦-	امراة محارية	ماكسين هونج كنجستون	سحر توفيق
٦٨٧-	محبوبة	فتانة حاج سيد جوادى	ماجدة العنانى
٦٨٨-	الانفجارات الثلاثة الكبرى	فيليب م. دوبر وريتشارد أ. موار	فتح الله الشيخ وأحمد السماحى
٦٨٩-	الملف	تانووش روجيفيتش	هنا عبد الفتاح
٦٩٠-	محاكم التفتيش فى فرنسا	چوزيف ر. ستراير	رمسيس عوض
٦٩١-	ألبرت أينشتين: حياته وغرامياته	لنيس براين	رمسيس عوض
٦٩٢-	الوجوبية	ريتشارد أيجانسى وأوسكار زاريت	حمدى الجابرى
٦٩٣-	القتل الجماعى: المحرقة	حائيم برشيت وآخران	جمال الجزيرى
٦٩٤-	بريدا	جيف كواينز وبيل ماييلين	حمدى الجابرى
٦٩٥-	رسل	ديف روينسون وجودى جروف	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٦-	روسو	ديف روينسون وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٧-	أرسطو	روبرت ودفين وجودى جروف	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٨-	عصر التنوير	ليود سبنسر وأنترزجى كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٩-	التحليل النفسى	إيفان وارد وأوسكار زاراتى	جمال الجزيرى
٧٠٠-	حقيقة كاتب	ماريو فرجاش	بسمة عبدالرحمن

٧٠١-	الذاكرة والحدائق	وليم رود فيفيان	منى اليرنس
٧٠٢-	الأمثال الفارسية	أحمد وكيليان	محمود علاوى
٧٠٣-	تاريخ الأدب فى إيران (ج٢)	إدوارد جرانتيل براون	أمين الشواربى
٧٠٤-	فيه ما فيه	مولانا جلال الدين الرومى	محمد علاء الدين منصور وآخران
٧٠٥-	فضل الأنام من رسائل حجة الإسلام	الإمام الغزالى	عبد الحميد مذكور
٧٠٦-	الشجرة الوراثية وكتاب التحولات	جونسون ف. يان	عزت عامر
٧٠٧-	ثالثتر بنيامين	نخبة	وفاء عبدالقادر
٧٠٨-	فراغة من؟	دونالد مالكولم ريد	روح عباس
٧٠٩-	معنى الحياة	ألفريد أدلر	عادل نجيب بشرى
٧١٠-	الأطفال: التكنولوجيا والثقافة	يان هاتشباى وجوموران - إليس	دعاء محمد الخطيب
٧١١-	برة التاج	ميرزا محمد هادى رسوا	هناء عبد الفتاح
٧١٢-	الإلياذة (ج١)	هوميروس	سليمان البستانى
٧١٣-	الإلياذة (ج٢)	هوميروس	سليمان البستانى
٧١٤-	حديث القلوب	لامنيه	حنا صاوه
٧١٥-	جامعة كل المعارف (ج١)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٦-	جامعة كل المعارف (ج٢)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٧-	جامعة كل المعارف (ج٣)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٨-	جامعة كل المعارف (ج٤)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٩-	جامعة كل المعارف (ج٥)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧٢٠-	جامعة كل المعارف (ج٦)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧٢١-	فلسفة المتكلمين فى الإسلام (مج١)	هارى أ. واقسون	مصطفى لييب عبد الغنى
٧٢٢-	الصفحة وقصص أخرى	يشار كمال	الصفصافى أحمد القطورى
٧٢٣-	تحديات ما بعد الصهيونية	إفرايم نيمنى	أحمد ثابت
٧٢٤-	البصار القرويدى	بول روينسون	عبد الريس
٧٢٥-	الاضطراب النفسى	جون فيتكس	مى مقلد
٧٢٦-	الموريسكيون فى الغرب	غيرمو غوثاليس بوستو	مروة محمد إبراهيم
٧٢٧-	حلم البحر	باچين	وحيد السعيد
٧٢٨-	العولة: تدمير العمالة والنمو	موريس أليه	أميرة جمعة
٧٢٩-	الثورة الإسلامية فى إيران	صانق زيبا كلام	هويدا عزت
٧٣٠-	حكايات من السهول الأفريقية	آن جاتى	عزت عامر
٧٣١-	النوع: الذكر والأنثى بين التميز والاختلاف	نخبة	محمد قدرى عمارة
٧٣٢-	قصص بسيطة	إنجو شولتسه	سمير جريس
٧٣٣-	مأساة عطيل	وايم شيكسبير	محمد مصطفى بدوى
٧٣٤-	يونابرت فى الشرق الإسلامى	أحمد يوسف	أمل الصبان
٧٣٥-	فن السيرة فى العربية	مايكل كوبرسون	محمود محمد مكي
٧٣٦-	التاريخ الشعبى للولايات المتحدة (ج١)	هوارد زن	شعبان مكاوى
٧٣٧-	الكوارث الطبيعية (ج٢)	باتريك ل. أبوت	توفيق على منصور
٧٣٨-	مشق من عصر ما قبل التاريخ إلى العولة للملوكة (ج١)	جيرار دى جورج	محمد عواد
٧٣٩-	مشق من الإمبراطورية العثمانية حتى الوقت الحاضر (ج٢)	جيرار دى جورج	محمد عواد

خطابات القوة	بارى هندس	مرفت ياقوت	٧٤٠-
الإسلام وأزمة العصر	برنارد لويس	أحمد هيكل	٧٤١-
أرض حارة	خوسيه لاكويرا	رزق بهنسى	٧٤٢-
الثقافة منظور داروينى	روبرت أونجر	شوقى جلال	٧٤٣-
ديوان الأسرار والرموز	محمد إقبال	سمير عبد الحميد	٧٤٤-
المآثر السلطانية	بيك الدنبلى	محمد أبو زيد	٧٤٥-
تاريخ التحليل الاقتصادى (مج ١)	جوزيف . أ. شومبيتر	حسن النعيمى	٧٤٦-
المجاز فى لغة السينما	تريفور وايتوك	إيمان عبد العزيز	٧٤٧-
تدمير النظام العالمى	قرانسييس بويل	سمير كريم	٧٤٨-
أيكولوجيا لغات العالم	ل.ج. كالفيه	باتسى جمال الدين	٧٤٩-
الإلياذة	هوميروس	أحمد عثمان	٧٥٠-
الإسراء والمعراج فى تراث الشعر الفارسى	نخبة	علاء السباعى	٧٥١-
ألمانيا بين عقدتى الذنب والخوف	جمال قارصلى	نمر عارورى	٧٥٢-
التنمية والقيم	إسماعيل سراج الدين وآخرون	محسن يوسف	٧٥٣-
الشرق والغرب	أنا مارى شيميل	عبد السلام حيدر	٧٥٤-
تاريخ الشعر الإشبانى خلال القرن العشرين	أندروب بيبكى	على إبراهيم منوفى	٧٥٥-
ذات العيون الساحرة	إنريكى خاربييل بونثيلا	خالد محمد عباس	٧٥٦-
تجارة مكة	باتريشيا كرون	آمال الروبى	٧٥٧-
الإحساس بالعولة	بروس روبنز	عاطف عبد الحميد	٧٥٨-
النثر الأردى	مولوى سيد محمد	جلال السعيد الحفناوى	٧٥٩-
الدين والتصور الشعبى للكون	السيد الأسود	السيد الأسود	٧٦٠-
جيوب مثقلة بالحجارة	فيرجينيا وولف	فاطمة ناعوت	٧٦١-
المسلم عنواً و صديقاً	ماريا سوليداد	عبد العال صالح	٧٦٢-
الحياة فى مصر	أنريكو بيا	نجوى عمر	٧٦٣-
ديوان غالب الدهلوى (شعر غزل)	غالب الدهلوى	حازم محفوظ	٧٦٤-
ديوان خواجة الدهلوى (شعر تصوف)	خواجة الدهلوى	حازم محفوظ	٧٦٥-
الشرق المتخيل	تيرى هنتش	غازى برو خليل أحمد خليل	٧٦٦-
الغرب المتخيل	نسيب سمير الحسينى	غازى برو	٧٦٧-
حوار الثقافات	محمود فهمى حجازى	محمود فهمى حجازى	٧٦٨-
أنباء أحياء	فريدريك هتمان	رندا النشار وضياء زاهر	٧٦٩-
السيدة بيرفيكتا	بينيتو بيريث جالنوس	صبرى التهامى	٧٧٠-
السيد سيجوندو سومبرا	ريكارىو جويرالديس	صبرى التهامى	٧٧١-
برخت ما بعد الحداثة	إليزابيث رايت	محسن مصيلحى	٧٧٢-
دائرة المعارف النبوية ج ٢	جون فيزر ويول ستيرجز	محمد فتحى عبد الهادى	٧٧٣-
الديموقراطية الأمريكية.. التاريخ والمركزات	نخبة	حسن عبد ربه المصرى	٧٧٤-
مرآة العروس	نذير أحمد الدهلوى	جلال الحفناوى	٧٧٥-
منظومة مصيبت نامه (مج ١)	فريد الدين العطار	محمد محمد يونس	٧٧٦-
الانفجار الأعظم	جيمس إ. ليدسى	عزت عامر	٧٧٧-
صفوة المديح	مولانا محمد أحمد، ورضا القانرى	حازم محفوظ	٧٧٨-
مختارات من الأدب اليابانى المعاصر	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم، وسارة تাকাهاشى	٧٧٩-

٧٨٠-	من أدب الرسائل الهندية حجاز ١٩٢٠ غلام رسول مهر	سمير عبد الحميد إبراهيم
٧٨١-	الطريق إلى بكين هدى بدران	نبيلة بدران
٧٨٢-	المسرح المسكون مارفن كارلسون	جلال عبد المقصود
٧٨٣-	العولة والرعاية الإنسانية فيك جورج ويول ويلينج	طلعت السروجي
٧٨٤-	الإساءة للطفل بيفيد أ. وواف	جمعة سيد يوسف
٧٨٥-	تأملات عن تطور نكاه الإنسان كارل سجان	سمير حنا صانق
٧٨٦-	المختبة مارجريت أتوود	سحر توفيق
٧٨٧-	العودة من فلسطين جوزيه بوفيه	إيناس صانق
٧٨٨-	سر الأهرامات ميروسلاف فرنر	خالد أبو اليزيد البلتاجي
٧٨٩-	الانتظار هاجين	منى الدروبي
٧٩٠-	الفرانكفونية العربية مونيك بونتو	جيهان العيسوي
٧٩١-	الطور ومعامل الطور في مصر القديمة محمد الشيمي	ماهر جويجاتي
٧٩٢-	دراسات حول القصص القصيرة منى ميخائيل	منى إبراهيم
٧٩٣-	ثلاث رؤى للمستقبل جون جريفيس	رؤف وصفي
٧٩٤-	التاريخ الشعبي للولايات المتحدة (ج٢) هوارن زن	شعبان مكاوي
٧٩٥-	مختارات من الشعر الإسباني (ج١) نخبة	على البمبي
٧٩٦-	أفاق جديدة في دراسة اللغة والذهن تشومسكي	حمزة المزيны
٧٩٧-	الرؤية في ليلة معتمة (مختارات) نخبة	طلعت شاهين
٧٩٨-	الإرشاد النفسي للأطفال كاترين جيلدرود ودافيد جيلدرود	سميرة أبو الحسن
٧٩٩-	سلم السنوات آن تيلر	عبد الحميد الجمال
٨٠٠-	قضايا في علم اللغة التطبيقي ميشيل ماكارشي	عبد الجواد توفيق
٨٠١-	نحو مستقبل أفضل نخبة	نخبة
٨٠٢-	مسلمو غرناطة في الآداب الأوروبية ماريا سوليداد	شرين محمود الرفاعي
٨٠٣-	التغير والتنمية في القرن العشرين توماس باترسون	عزة الخميسي
٨٠٤-	سوسيولوجيا الدين دانييل هيرفيه ليجيه وچان بول ويلام	درويش الحلوجي
٨٠٥-	من لا عزاء لهم كازو إيشيجورو ليش	طاهر البربري
٨٠٦-	الطبقة العليا المتوسطة ماجدة بركة	محمود ماجد
٨٠٧-	يحي حقى : تشريح مفكر مصري ميريام كوك	خيرى بومة
٨٠٨-	الشرق الأوسط والولايات المتحدة بيفيد دابليو ليش	أحمد محمود
٨٠٩-	تاريخ الفلسفة السياسية (ج١) ليو شتراوس وجوزيف كرويسى	محمود سيد أحمد
٨١٠-	تاريخ الفلسفة السياسية (ج٢) ليو شتراوس وجوزيف كرويسى	محمود سيد أحمد
٨١١-	تاريخ التحليل الاقتصادي (مج٢) جوزيف أ. شومبيتر	حسن النعيمي
٨١٢-	تأمل العالم: الصورة والأسلوب في الحياة الاجتماعية ميشيل مافيزولي	فريد الزاهي
٨١٣-	لم أخرج من ليلي أنى إرنو	نورا أمين
٨١٤-	الحياة اليومية في مصر الرومانية نافثال لويس	أمال الروبي
٨١٥-	فلسفة المتكلمين (مج٢) هاري أ. ولفسون	مصطفى لبيب عبد الغنى
٨١٦-	العبر الأمريكي أصول النزعة الفرثية المعاصرة لأمريكا فيليب روجيه	بدر الدين عروديكي

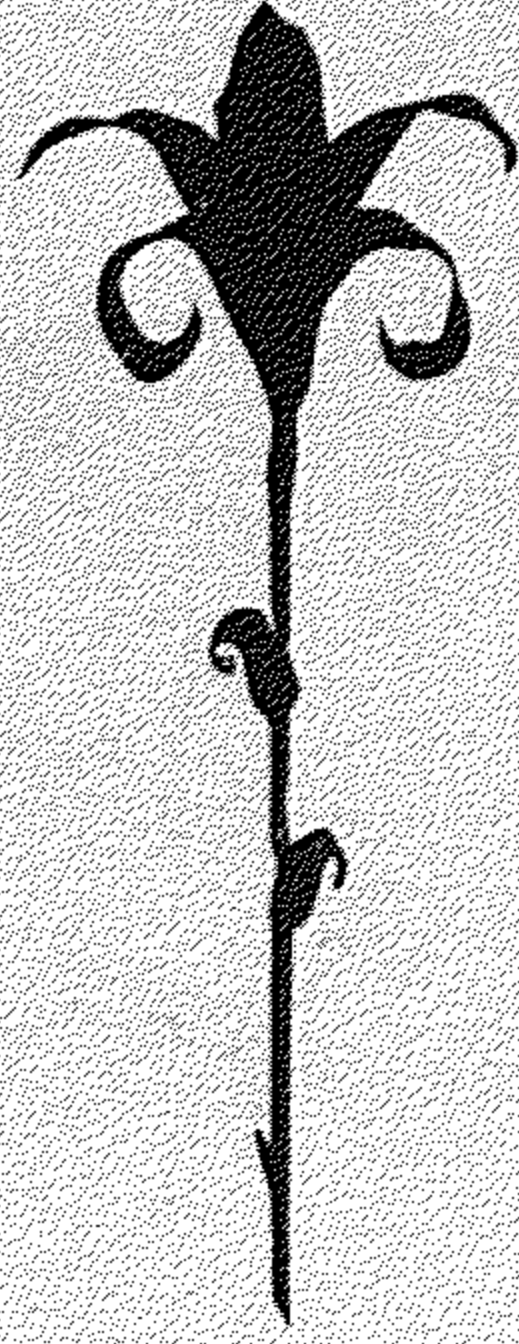
٨١٧-	مائدة أفلاطون : كلام فى الحب	أفلاطون	محمد لطفى جمعة
٨١٨-	الحرفيون والتجار فى القرن ١٨ (ج١)	أندريه ريمون	ناصر أحمد إبراهيم وباتسى جمال الدين
٨١٩-	الحرفيون والتجار فى القرن ١٨ (ج٢)	أندريه ريمون	ناصر أحمد إبراهيم وباتسى جمال الدين
٨٢٠-	هملت	شكسبير	طانيوس أفندى
٨٢١-	هفت بيكر	نور الدين عبد الرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٨٢٢-	فن الرياضى	نخبة	محمد نور الدين
٨٢٣-	وجه أمريكا الأسود	نخبة	أحمد شافعى
٨٢٤-	لغة الدراما	دافيد برتش	ربيع مفتاح
٨٢٥-	حضارة عصر النهضة فى إيطاليا (ج١)	ياكوب يوكهارت	عبد العزيز توفيق جاويد
٨٢٦-	حضارة عصر النهضة فى إيطاليا (ج٢)	ياكوب يوكهارت	عبد العزيز توفيق جاويد
٨٢٧-	البدو والمستوطنات والنين يقضون العطلات	دونالد پ كول وثرىا تركى	محمد على فرج
٨٢٨-	النظرية النسبية	ألبرت أينشتين	رمسيس شحاتة

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ٧٠٢٦ / ٢٠٠٥

الرقم الدولي - 9-806-305-977

تم تصوير وطبع هذا الكتاب من نسخة مطبوعة



النسبية

أينشتاين
النظرية الخاصة والعامة

هذا الكتاب الذى ألفه صاحب النظرية النسبية ألبرت أينشتاين، والذى نشر عام ١٩١٦، وأعيد طبعه بلغته الإنجليزية خمس عشرة مرة على الأقل، وتمت ترجمته منذ حوالى ٤٠ عاماً، لا يزال من أفضل الكتب البسيطة عن النظرية النسبية الخاصة والعامة، وسبب ذلك أن صاحب النظرية يقدم فيه أسسها فى سهولة ويسر، ويتغلب فى براعة فائقة على تردد المتطبعين بالفيزياء الكلاسيكية فى الانفلات من الهندسة الإقليدية وما يصاحب ذلك من عدم القبول بالجديد. إن من أهم مميزات الكتاب أيضاً أنه موجه للدارسين فى نهاية المرحلة الثانوية من التعليم، ويطالبهم بالصبر وبذل الجهد. إن نتائج النظرية النسبية وتطبيقاتها قد طورت المعرفة العلمية، وأوصلت إلى غزو الفضاء وفك الكثير من أسرارها، كما ساعدت على دراسة وتطوير نظرية الجسيمات الأولية والكثير من موضوعات الفيزياء الحديثة، كما أن التنبؤات التى طرحتها النظرية النسبية فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضى قد تحققت عن طريق العالمين أوبنهايمر وجورج جامو، وقد تم الكشف عن ذلك فى النصف الثانى من القرن العشرين.

